



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

DESIGN TRAMVAJE

DESIGN OF TRAM

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ŠIMON ŘIHÁNEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. akad. soch. MIROSLAV ZVONEK,
ArtD.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Šimon Řihánek

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Průmyslový design ve strojírenství (2301T008)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Design tramvaje

v anglickém jazyce:

Design of Tram

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza a návrh designu tramvaje. Návrh má splňovat obecné předpoklady průmyslového designu - respektovat funkční, konstrukční, technologické, estetické a ergonomické zákonitosti.

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Variantní studie designu
5. Tvarové řešení
6. Konstrukčně technologické a ergonomické řešení
7. Barevné a grafické řešení
8. Diskuze
9. Závěr
10. Seznam použitých zdrojů

Forma práce: průvodní zpráva, sumarizační poster, technický poster, ergonomický poster, designérský poster, fotografie modelu, fyzický model

Typ práce: designérská; Účel práce: vzdělávání

Výstup práce: průmyslový vzor; Projekt: Specifický vysokoškolský výzkum

Rozsah práce: cca 72 000 znaků (40 - 50 stran textu bez obrázků)

Zásady pro vypracování práce:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2015.pdf

Šablona práce: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK_sablona_praci.zip

Seznam odborné literatury:

DREYFUSS, H. - POWELL, E.: Designing for People. New York : Allworth, 2003.

JOHNSON, M.: Problem solved. London : Phaidon, 2002.

NORMAN, D. A.: Emotional Design. New York : Basic Books, 2004.

TICHÁ, J., KAPLICKÝ, J.: Future systems. Praha : Zlatý řez, 2002.


WONG, W.: Principles of Form and Design. New York : Wiley, 1993.

Časopisy: Design Trend, Designum, Form, ID, Idea magazine ap.

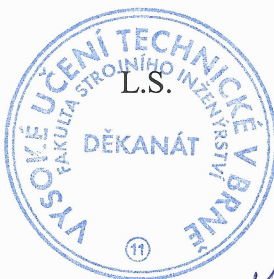
Vedoucí diplomové práce: doc. akad. soch. Miroslav Zvonek, ArtD.


Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 21. 11. 2014



prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu





doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Obsahem této diplomové práce je návrh designu nízkopodlažní tramvaje, určené převážně pro vnitroměstské použití. Součástí práce je stručné shrnutí historického vývoje, zanalyzování současných trendů na poli designu tramvají a analýza používaných technických řešení. Hlavní část je věnována samotnému procesu návrhu, jehož výsledkem je tvarové a grafické řešení exteriéru a uspořádání interiéru při současném respektování konstrukčních a ergonomických požadavků ve vztahu k cestujícím i řidiči vozidla.

KLÍČOVÁ SLOVA

tramvaj, kolejové vozidlo, městská hromadná doprava, design, ergonomie

ABSTRACT

The content of this diploma thesis is design of a low-floor tram, primarily intended for inner-city use. The thesis includes a brief summary of the historical development, analysis of current trends in tram design and analysis of currently used technical solutions. The main part is devoted to the design process, resulting in shape and graphical solution of the exterior and interior arrangement while respecting the structural and ergonomic requirements in respect of passengers and the driver of the vehicle.

KEYWORDS

tram, rail vehicle, urban public transportation, design, ergonomics

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŘIHÁNEK, Š. *Design tramvaje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 84 s. Vedoucí diplomové práce doc. akad. soch. Miroslav Zvonek, ArtD.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval v první řadě svému vedoucímu práce, doc. akad. soch. Miroslavu Zvonkovi, ArtD., za průběžné konzultace a směřování práce ke zdárnému konci. Dále chci poděkovat vedoucímu dílny, panu Vladimíru Molíkovi, který nás provázel po celé pětileté studium a bez nějž bych jen těžko vyráběl modely ke svým návrhům včetně tohoto. Díky patří i spolužákům, doktorandům, doktorům, docentům a dalším za vytvoření příjemného kolektivu, který byl pro práci velkým přínosem. Nakonec musím poděkovat své rodině za plnou podporu ve studiu.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Design tramvaje zpracoval samostatně s použitím zdrojů, které jsou řádně uvedeny v seznamu použité literatury.

.....
v Brně dne

.....
podpis

OBSAH

ABSTRAKT	5
KLÍČOVÁ SLOVA	5
ABSTRACT	5
KEYWORDS	5
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	7
PODĚKOVÁNÍ	9
PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI	11
OBSAH	13
ÚVOD	15
1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	16
1.1 Vývojová analýza	16
1.1.1 19. století – koněspřežná a parní tramvaj	16
1.1.2 Přelom 19./20. století – elektrická tramvaj	17
1.1.3 30. léta 20. století – koncepce PCC	17
1.1.4 Vývoj v 2. polovině 20. století	18
1.1.5 80. a 90. léta – první nízkopodlažní tramvaje	19
1.1.6 21. století – renesance tramvajové dopravy v západní Evropě	22
1.1.7 Vývoj v 21. století v České republice	23
1.2 Technická analýza	25
1.2.1 Koncepce nízkopodlažních tramvajových vozidel	25
1.2.2 Srovnání typů dvojkolí používaných u nízkopodlažních vozů	28
1.2.3 Základní rozměry	30
1.2.4 Napájení	31
1.2.5 Podvozky	32
1.3 Designérská analýza	34
1.3.1 Škoda 15T	34
1.3.2 Škoda 26T	35
1.3.3 Škoda 29T/30T	35
1.3.4 Alstom Citadis 402 (Tours)	36
1.3.5 Alstom Citadis 302 (Lyon)	37
1.3.6 Alstom Citadis 302 (Casablanca)	38
1.3.7 Bombardier Flexity Outlook (Marseille)	38
1.3.8 Translohr (Clermont-Ferrand)	39
1.3.9 Škoda 13T	40
1.3.10 Zhodnocení designu stávajících produktů	41
2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	42
2.1 Designérské cíle	42
2.2 Technické parametry	42
2.3 Technické problémy	42
2.4 Trendy budoucího vývoje	43
3 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU	44
3.1 Varianta 1	45
3.2 Varianta 2	46
3.3 Varianta 3	48
4 TVAROVÉ ŘEŠENÍ	50
4.1 Základní tvarování	50

4.2 Dělení ploch	51
4.3 Střecha	51
4.4 Dveře	52
4.5 Interiér	53
5 KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ	54
5.1 Technické řešení	54
5.1.1 Rozměry	54
5.1.2 Konstrukční uspořádání	56
5.1.3 Podvozky	57
5.2 Ergonomické řešení	58
5.2.1 Rozměry vztahující se k ergonomii	58
5.2.2 Výhledové úhly	58
5.2.3 Uspořádání interiéru	60
5.2.4 Sedadla	63
5.2.5 Madla	63
5.2.6 Pracoviště řidiče	63
5.2.7 Světelný informační pás	63
6 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ	65
6.1 Varianta A	65
6.2 Varianta B	66
6.3 Informační grafika	66
6.4 Světelná signalizace	67
6.5 Světlomety	68
7 DISKUZE	71
7.1 Psychologická funkce	71
7.2 Ekonomická funkce	71
7.3 Sociální funkce	71
ZÁVĚR	73
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	74
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	79
SEZNAM OBRÁZKŮ	80
SEZNAM TABULEK	82
SEZNAM PŘÍLOH	83

ÚVOD

Tramvajová doprava je ekologický způsob hromadné přepravy osob. Tramvajovým vozem se rozumí kolejové vozidlo lehčí konstrukce, v dnešní době výhradně poháněné elektřinou. Specifikem tramvají je možnost jejich provozu přímo v ulicích města s využitím společné komunikace s auty a chodci. Existují i rychlodrážní tramvaje, pohybující se po vlastní segregované trati, často operující mezi městy.

Ve své práci se zaměřím na návrh tramvaje pro městský provoz. Z pohledu designu je důležité, že tento typ tramvají tvoří velmi viditelný objekt, který často dotváří obraz města, nebo se přímo stane jedním z jeho symbolů. Člověk jej vidá opakovaně, několikrát denně, většinou stále stejný model. Důležitým aspektem je také předpokládaná dlouhá životnost tramvaje v řádu pár desítek let. Z těchto důvodů je dobré přistupovat k řešení bez zbytečných „ozdob“ a dalších prvků, které podléhají módě a mohou rychle zastarat, a zaměřit se na příjemný, funkční tvar.

Přínosem práce může být uplatnění nových technologií z příbuzných oborů. Rozvoj v oblasti osvětlení může v brzké době učinit reálným i rozsáhlé využití světelných prvků, které budou mít informační charakter. Design by však na těchto prvcích neměl stát, ty by jej měly pouze doplňovat.

Dalším specifikem je, že s tramvají přichází do styku, a to nepřímého i přímého, prakticky všechny skupiny obyvatelstva. Z tohoto důvodu jsou velmi důležité ergonomické požadavky, především co se týče uspořádání interiéru a nastupování do vozu. Odděleným ergonomickým problémem je pak kabina řidiče, u které je mimo jiné potřeba zajistit bezproblémový výhled z vozu, mimo jiné i kvůli chodcům často přecházejícím před tramvají.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1.1 Vývojová analýza

1.1.1 19. století – koněspřežná a parní tramvaj

Nejstarším typem tramvaje je koněspřežná dráha, která se začala objevovat již od počátku 19. století. Za první veřejnou dopravu osob po železnici bývá považována Swansea & Mumbles Railway provozovaná od roku 1807 ve Walesu, kde jednotlivé vozy tažené koňmi spíše než klasický vlak připomínaly právě tramvaj. První městská koňská dráha pak byla zprovozněna v New Yorku v roce 1832. Na území dnešní České republiky byla první tramvaj zavedena v Brně roku 1869. Na rozdíl od koněspřežné železnice měly vozy velmi lehkou stavbu skříňe tvořenou převážně ze dřeva. Kůň nebo pár koní byl schopen táhnout pouze jeden vůz o kapacitě 20 až 30 osob. Tyto vozy existovaly ve dvojím provedení – otevřené vozy pro provoz v létě a vozy uzavřené se zasklenými okny pro provoz v zimě nebo celoročně. [1][2][3][4][5]



Obr. 1 Brněnský vůz koňky z roku 1876 [31]

Později se objevuje parní tramvaj, která mohla používat vozy shodné s koňkou. Koně však byly nahrazeny speciální parní lokomotivou. Větší výkon parního stroje umožnil spojovat vozy do souprav a převézt tak větší množství cestujících najednou. Tramvaje se navíc používaly i pro přepravu nákladu. Například i v Brně byla tramvajová síť napojena na vlečky k různým průmyslovým podnikům. [2][3][5]



Obr. 2 Parní lokomotiva Caroline (1889) se dvěma vlečnými vozy v Brně [32]

1.1.2 Přelom 19./20. století – elektrická tramvaj

1.1.2

Parní tramvaje se však velkého rozmachu nedočkaly, neboť ke konci 19. století se začaly používat tramvaje elektrické. První takové se objevily roku 1881 v Berlíně, kde je do provozu uvedl Werner von Siemens. Z českých měst byla první tramvaj představena roku 1891 na zemské výstavě v Praze Františkem Křížikem. Na dalších trasách tramvaje jezdily od roku 1896. [2]

Elektrické tramvaje v počátcích používaly železný nebo ocelový rám, v němž byl zabudován pohon, skříně tramvajů však stále měly dřevěnou kostru a byly pouze oplechované nebo obložené dřevem. Sběr elektrického proudu z troleje zajišťoval nejčastěji tyčový sběrač s kladkou na konci nebo tzv. lyrový sběrač se smykadlem. [1][2]



Obr. 3 Dvoupatrové tramvaje v Blackpoolu, Velká Británie [33]

1.1.3 30. léta 20. století – koncepce PCC

1.1.3

Do 20. let 20. století neměla tramvaj v podstatě konkurenci. Pod vlivem pomalu sílící silniční dopravy však ve třicátých letech 20. století vzniká v USA tzv. koncepce PCC (*Presidents' Conference Committee Car*). Vozy této koncepce mají zcela novou

konstrukci, a tedy i design. Do této doby se z větší části používaly vozy dvounápravové, vozy PCC mají dva otočné dvounápravové podvozky, které umožňují tišší a klidnější chod. Dalším důležitým prvkem byl tzv. zrychlovač, sloužící pro ovládání trakčních motorů, kdy je dosaženo rychlého a plynulého rozjezdu a brzdění postupným spínáním odporů. Skříň vozu je celokovová. V případě potřeby vyšší kapacity se vozy spřahovaly do souprav, nebo vznikaly odvozené kloubové vozy. Velmi brzy se vozy koncepce PCC rozšířila do celé Evropy, kde je na základě licence vyráběli evropští výrobci. Úspěšnost této koncepce dokazuje fakt, že s vozy vycházejícími z ní se běžně setkáváme i v současnosti. Vytlačována začala být až v posledních desetiletích s přicházející potřebou nízkopodlažních vozů. [1][2]



Obr. 4 Vozy koncepce PCC v San Franciscu [34]

1.1.4 Vývoj v 2. polovině 20. století

Licenci na výrobu tramvají koncepce PCC zakoupila ještě před druhou světovou válkou i československá ČKD Tatra, která roku 1951 představila prototyp tramvaje T1, následovaný typy T2 a roku 1961 typem T3, který se dočkal opravdu masového rozšíření. Vyrobeno bylo přibližně 15 000 vozů, které byly dodávány hlavně do zemí východního bloku. To z T3 činí celosvětově vůbec nejrozšířenější typ tramvaje. Z tohoto typu bylo také odvozeno množství variant, jako T4 s užší skříní, vlečné vozy B3 a B4 a kloubové dvoučlánkové vozy K1 a K2. [1][2]



Obr. 5 Tramvaj Tatra T3 v Praze [35]

Od sedmdesátých let byly souběžně s T3 vyráběny další typy včetně obousměrné tříčlánkové KT8D5, typické svými hranatými tvary a úspornější elektrickou výzbrojí s polovodičovými prvky. [1][2]



Obr. 6 Souprava vozů T6C5 s dveřmi na obou stranách spřažených zadními čely k sobě v Budapešti [36]

V západní Evropě a USA začíná v druhé polovině 20. století s rozvojem automobilové dopravy výrazný útlum tramvajové dopravy. Tramvaje byly také vytlačovány autobusy, které nevyžadují budování nákladné infrastruktury a jsou flexibilnější. Ve spoustě měst tak byly tramvajové provozování úplně zrušeny. Kde byla potřeba kapacitní MHD, byly také nahrazovány metrem nebo nadzemní rychlodráhou. V západní Evropě, tam, kde tramvaje přežily, se používaly především dvou a tříčlánkové nebo i delší vozy a také vozy vlečné. Typická je například vídeňská dvoučlánková tramvaj typu E v kombinaci s vlečným vozem typu c. [1][2]



Obr. 7 Souprava tramvaje E1 a vlečného vozu c3 ve Vídni [37]

1.1.5 80. a 90. léta – první nízkopodlažní tramvaje

V 80. letech pomalu začíná vývoj nízkopodlažních vozidel. Za první skutečně nízkopodlažní tramvaj (podlaha 345 mm nad temenem kolejnice) je považována tramvaj typu TSF-2 od firmy GEC-Alsthom, vyvinutá pro nově otevřený tramvajový

1.1.5

provoz ve francouzském Grenoblu, kde je v provozu od roku 1987 (několik vozů tohoto typu zde jezdí dodnes). Podíl nízké podlahy u tohoto typu je 70 %. [1][2]



Obr. 8 První nízkopodlažní tramvaj na světě – Alstom TFS-2 z roku 1987 pro Grenoble [38]

V 90. letech už nízkopodlažní tramvaje nabízí většina výrobců. Zpočátku existují snahy o standardizaci nových nízkopodlažních tramvají, avšak problematika konstrukce nízkopodlažních vozů se ukáže tak složitá, že vzniká velké množství způsobů, jak jsou tyto tramvaje koncepčně řešeny, různí se především uspořádání pojezdu. [1][2]

Pozadu nezůstal ani český výrobce ČKD, který roku 1993 představil prototyp tramvaje RT6N1, která vycházela z typu TSF-2 pro Grenoble. Sériová výroba probíhala v letech 1996 až 1998. Než se však podařilo vyřešit všechny technické problémy spojené s novým typem, ČKD zkrachovalo a vyrobeny byly pouze necelé dvě desítky vozů. Úspěšně zprovoznit tyto tramvaje se podařilo jen v polské Poznani a nakonec také v Brně, kam byly dodány jen 4 kusy. [1][6]



Obr. 9 ČKD Tatra RT6N1 v Brně [39]

Unikátním technickým řešením, které se výrazněji promítlo i do designu tramvaje, se vyznačuje tramvaj ULF (*Ultra Low Floor*) vyvinutá v 90. letech pro Vídeň firmou Siemens. Tato tramvaj se vyznačuje nejnižší položenou výškou podlahy, pouhých 190 mm nad temenem kolejnice po celé délce vozu. Toho bylo dosaženo speciální portálovou konstrukcí kloubů, kde pod každým z nich je dvojice nezávislých kol a mezi nimi jsou zavěšeny jednotlivé články. Klouby postrádají typický přechodový měch („harmoniku“), navenek jsou bočnice i střecha vozu překryty pevným celkem, pod nějž se články v obloucích částečně vsouvají. [1][2][7]



Obr. 10 ULF B, Vídeň [40]

V roce 1994 se tramvaje vrátily do Štrasburku. Tramvaj zvaná Eurotram zpočátku vyráběná firmou ABB má velmi krátké články s pevnými podvozky (krajní článek je vlastně tvořen pouze kabinou řidiče) a mezi nimi zavěšeny články delší. Tramvaj je sedmičládková a 100% nízkopodlažní. Kromě toho je tramvaj zajímavá svým designem, který obzvláště ve své době naprosto vybočoval z řady. [2]



Obr. 11 Eurotram ve Štrasburku (devičládková verze) [41]

1.1.6 21. století – renesance tramvajové dopravy v západní Evropě

Ve 21. století v plné síle nastává již započatá renesance tramvajové dopravy v západních zemích, největší rozmach pak zažívají v současné době ve Francii. Začíná se experimentovat s novými technologiemi, jako jsou alternativní způsoby napájení. Zcela novým řešením je pak tzv. tramvaj na pneumatikách – v silnici je pouze jedna vodící kolej uprostřed, zatímco hmotnost a trakce vozidla spočívá na klasických pneumatikách. Tyto technologie je možné nasadit i díky tomu, že vznikají zcela nové tramvajové provozy ve městech, kde byly dříve tramvaje zrušeny. [1][2]



Obr. 12 Tramvaj na pneumatikách (systém Translohr) ve městě Clermont-Ferrand, Francie

V roce 1999 byla do francouzského Montpellier prodána první tramvaj z rodiny Citadis od výrobce Alstom. Tramvají Citadis se do dnešního dne vyrobilo přes 1500 kusů a dodány byly do více než 50 měst, což z ní činí zřejmě nejúspěšnější typ tramvaje současnosti. Kromě různého počtu článků a technických záležitostí se tyto tramvaje liší především designem čel, která jsou navrhována specificky pro jednotlivá města. [2][8]



Obr. 13 Alstom Citadis 401 (původní typ 301 byl prodloužen dodáním dalších dvou článků) v Montpellier [42]

Další větší rodinu tramvají zastupuje Combino výrobce Siemens. Prototyp vznikl roku 1996 a první série byla dodávána do Postupimi. Nástupcem této rodiny je Avenio. Roku 2006 byly do Budapešti dodány právě tramvaje tohoto typu v šestičlánkové verzi. Tyto vozy se svou délkou 54 metrů dosud drží délkový rekord mezi článkovými tramvaji. [1][2][9]



Obr. 14 Nejdelší tramvaj světa, Combino Supra v Budapešti [43]

1.1.7 Vývoj v 21. století v České republice

V České republice v současnosti existují tři výrobci tramvají. V 90. letech začíná tramvaje vyrábět Škoda Transportation. Prvním typem je 03T, známá pod jmény Astra nebo Anitra. Od tohoto typu odvozené tramvaje 05T a 10T putují také do zahraničí. Z 03T vychází také typ 01 Trio druhého českého výrobce, ostravské firmy Inekon, která tramvaj původně vyvíjela se Škodou.

[1][10][11][12][13]

1.1.7



Obr. 15 Prototyp původem české tramvaje 10T3 v Portlandu nese hrdý nápis „Made in USA“ [44]

Škoda dále rozvíjela svou koncepci a představila typy z modelové řady Elektra. Vozy jsou známé svými čely navrženými ve studiu Porsche Design. Nejprve byly od roku 2005 dodávány do Prahy, poté do polské Vratislavi a do Brna. [1][13]



Obr. 16 Škoda 16T „Porsche“ ve Vratislavi [45]

Pro Prahu následně Škoda vyvinula model 15T ForCity s unikátním technickým řešením. Jde o první tramvaj se všemi otočnými a hnanými podvozky, která je zároveň 100% nízkopodlažní. [1][2][13]



Obr. 17 Škoda 15T [46]

Škoda se pak tramvajemi 26T a 28T, dodávanými do maďarského Miskolce a tureckého města Konya, vrátila ke koncepci zavěšených článků s pevnými podvozky. Zkombinováním otočných krajních a pevných středních podvozků vznikly typy 29T a 30T navržené pro Bratislavu. [13]

Posledním výrobcem je Aliance TW Team (zahrnující firmy KOS Krnov, Pragoimex a VKV Praha), který začal přestavbami tramvají T3 a K2 na částečně nízkopodlažní typy VarioLF s využitím nového designu skříně. Vyráběny jsou také jako nové vozy. [1][14]



Obr. 18 VarioLF v Brně [47]

1.2 Technická analýza

1.2

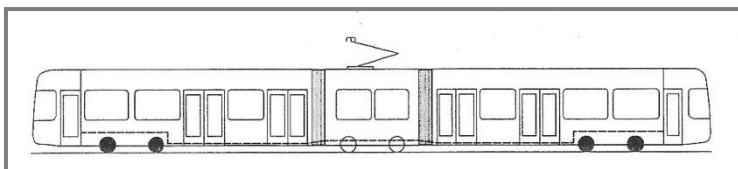
1.2.1 Koncepce nízkopodlažních tramvajových vozidel

1.2.1

Základním konstrukčním problémem nízkopodlažních tramvají je celková koncepce, tedy spolu související uspořádání pojezdu a jednotlivých článků. V této kapitole budou rozebrány výhody a nevýhody jednotlivých řešení.

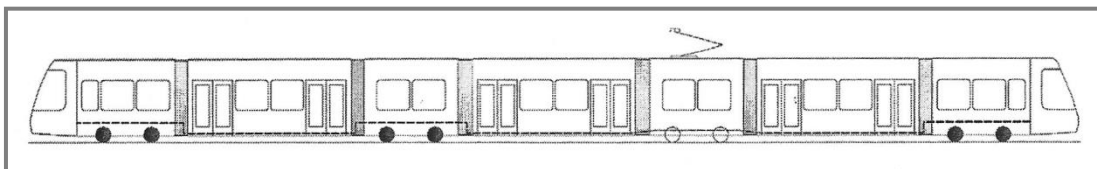
Literatura [1] uvádí rozdělení a srovnání koncepcí v pěti základních skupinách:

- částečně nízkopodlažní tramvaj s otočnými hnacími podvozky:



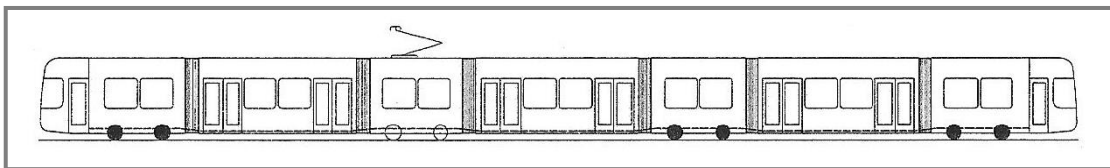
Obr. 19 Schéma uspořádání pojezdu prvních nízkopodlažních tramvají pro Grenoble [1]

- částečně nízkopodlažní tramvaj s krátkými články na neotočných podvozcích, mezi nimiž jsou zavěšeny nízkopodlažní články:



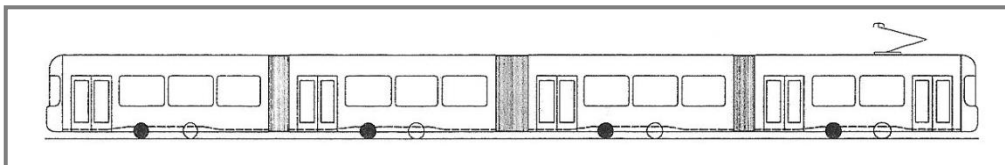
Obr. 20 Schéma uspořádání pojezdu sedmičlánkové tramvaje NGT8DD [1]

- stoprocentně nízkopodlažní tramvaj s krátkými články na neotočném pojezdu bez náprav, mezi nimiž jsou zavěšeny nízkopodlažní články:



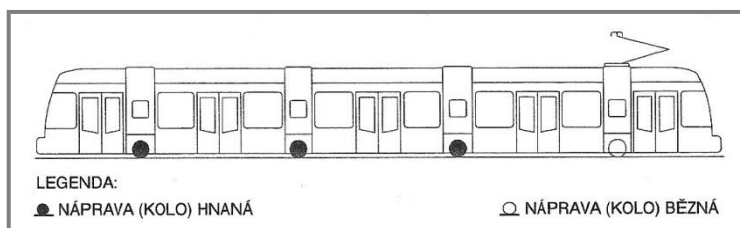
Obr. 21 Schéma uspořádání pojezdu nízkopodlažní tramvaje s krátkými nosnými články s beznápravovými podvozky [1]

- stoprocentně nízkopodlažní vozidlo s dlouhými články spojenými klouby, spočívajícími na částečně otočném podvozku bez náprav:



Obr. 22 Schéma uspořádání pojezdu nízkopodlažní tramvaje GT8N [1]

- stoprocentně nízkopodlažní vozidlo s krátkými články s velmi nízkou podlahou, zavěšenými na portálech s pojezdem s nezávislými koly:

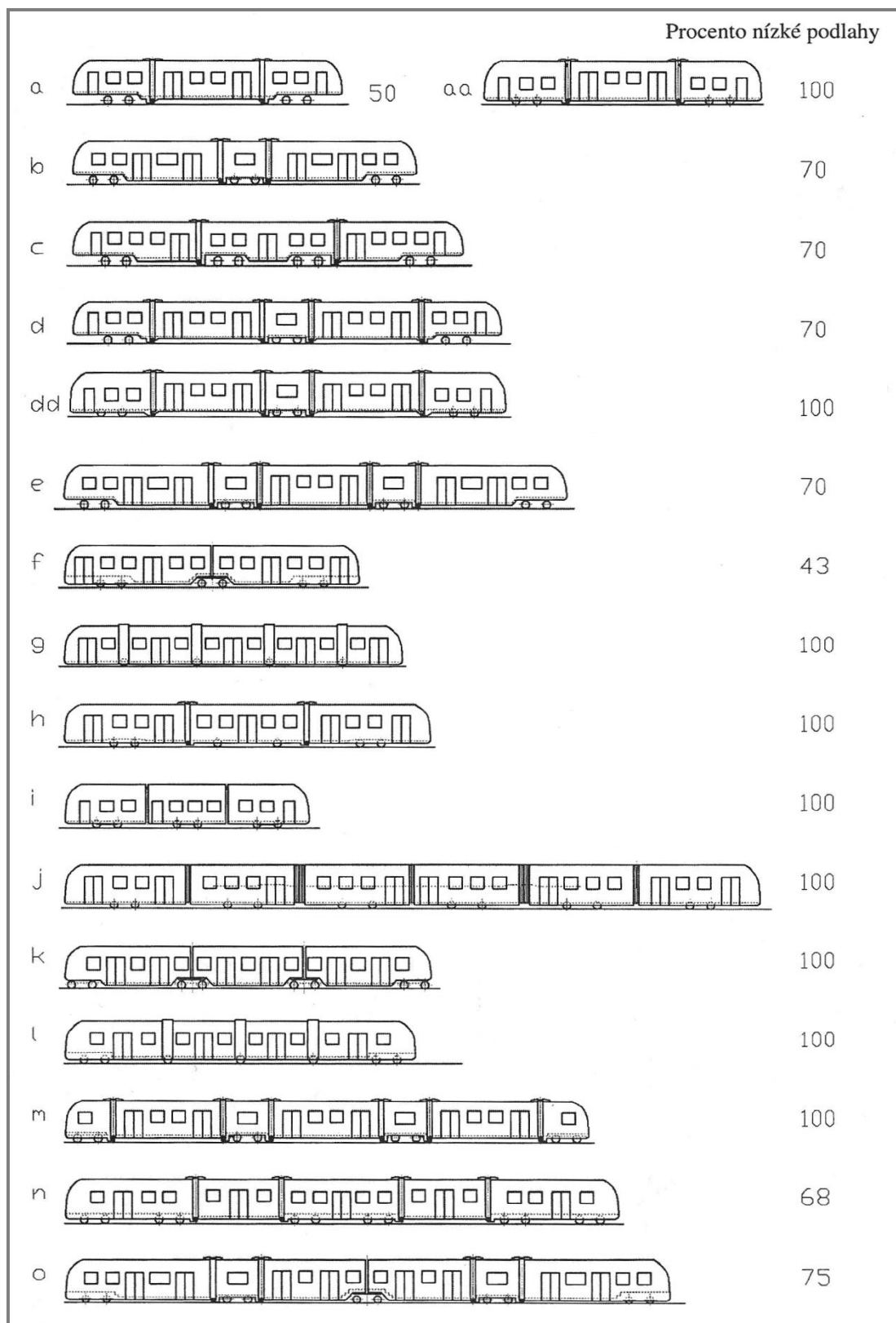


Obr. 23 Schéma uspořádání pojezdu nízkopodlažní tramvaje ULF [1]

Zhodnocení

1. skupina používána zpočátku – bylo možno ji bez problémů použít místo tradičních podvozkových vozů. Nižší komfort pro cestující (schody v interiéru)
2. skupina vhodná pro kvalitní nové tratě spíše rychlodrážního charakteru (bez prudkých oblouků), na tratích v uliční síti zvýšené opotřebení kol i kolejnic. Vyšší počet kloubových spojení -> vyšší náklady na údržbu. Používány pro svou relativní jednoduchost.
3. skupina – modifikace předchozí skupiny – stejné nevýhody, avšak odstraněny schody v interiéru.
3. až 5. skupina – tramvaje bez klasických náprav – vyžadují velmi kvalitní tratě s dokonalou geometrií kolejnic.
4. skupina – bylo potřeba dořešit kinematiku při vjezdu/výjezdu do/z oblouku a stabilizaci článků při jízdě vyšší rychlostí na přímé trati – tramvaj se při jízdě vlnila. Úzká ulička mezi částečně otočnými podvozky (sedadla na krytech podvozků)
5. skupina – ULF (Ultra Low Floor) – vyvinuta speciálně pro Vídeň – nejnižše položená podlaha na světě – 190 mm nad temenem kolejnice. [1]

Koncepcí, snažícími se vyrovnat se s problémem nízkopodlažních tramvají, však vzniklo v posledních desetiletích nepřeberné množství. Pro ilustraci, literatura [3] uvádí následující přehled, ani ten však není konečný:



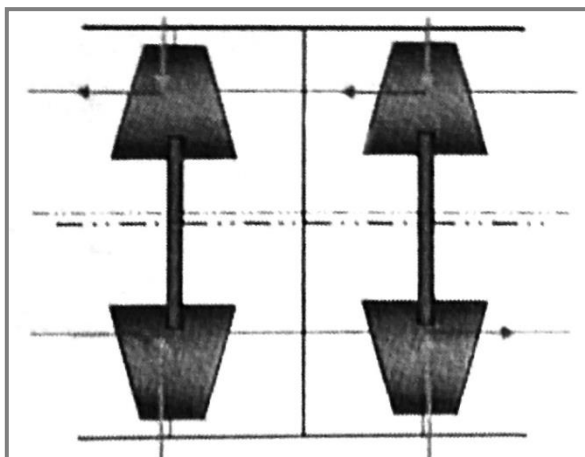
Obr. 24 Koncepte vícečlánkových tramvají [3]

1.2.2 Srovnání typů dvojkolí používaných u nízkopodlažních vozů

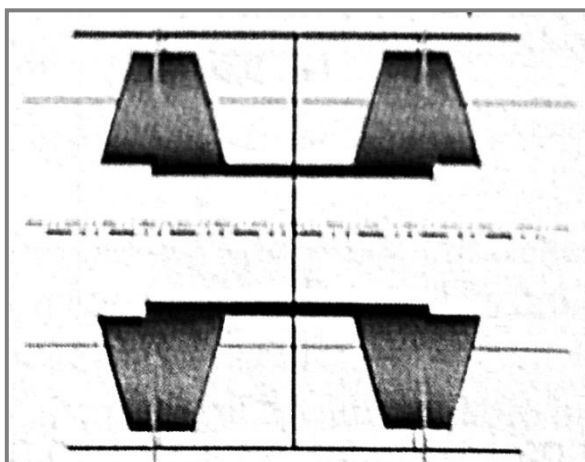
Standardní dvojkolí – náprava se dvěma nalisovanými koly. Má schopnost samovolného centrování do osy koleje. Vzniká vlnivý pohyb, který způsobuje rovnoměrné opotřebení kol.

Dvojkolí s volnými koly – pár volných kol nespojených tuhou nápravou. Nemají schopnost samovolného centrování. Díky dalším vznikajícím silám se pár volných kol blíží asymptoticky k ose koleje.

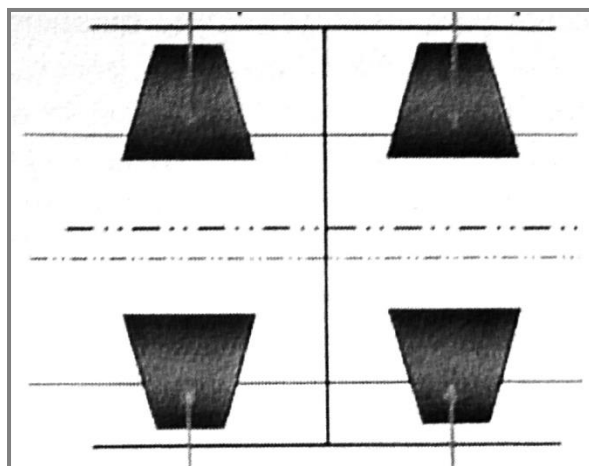
Podélné dvojkolí – dvě volná kola na jedné straně podvozku jsou spojena přes podélný trakční motor. Stejně jako u volných kol vzniká asymptotický pohyb k ose koleje.



Obr. 25 Schéma klasického dvojkolí [3]



Obr. 26 Schéma podélného dvojkolí [3]

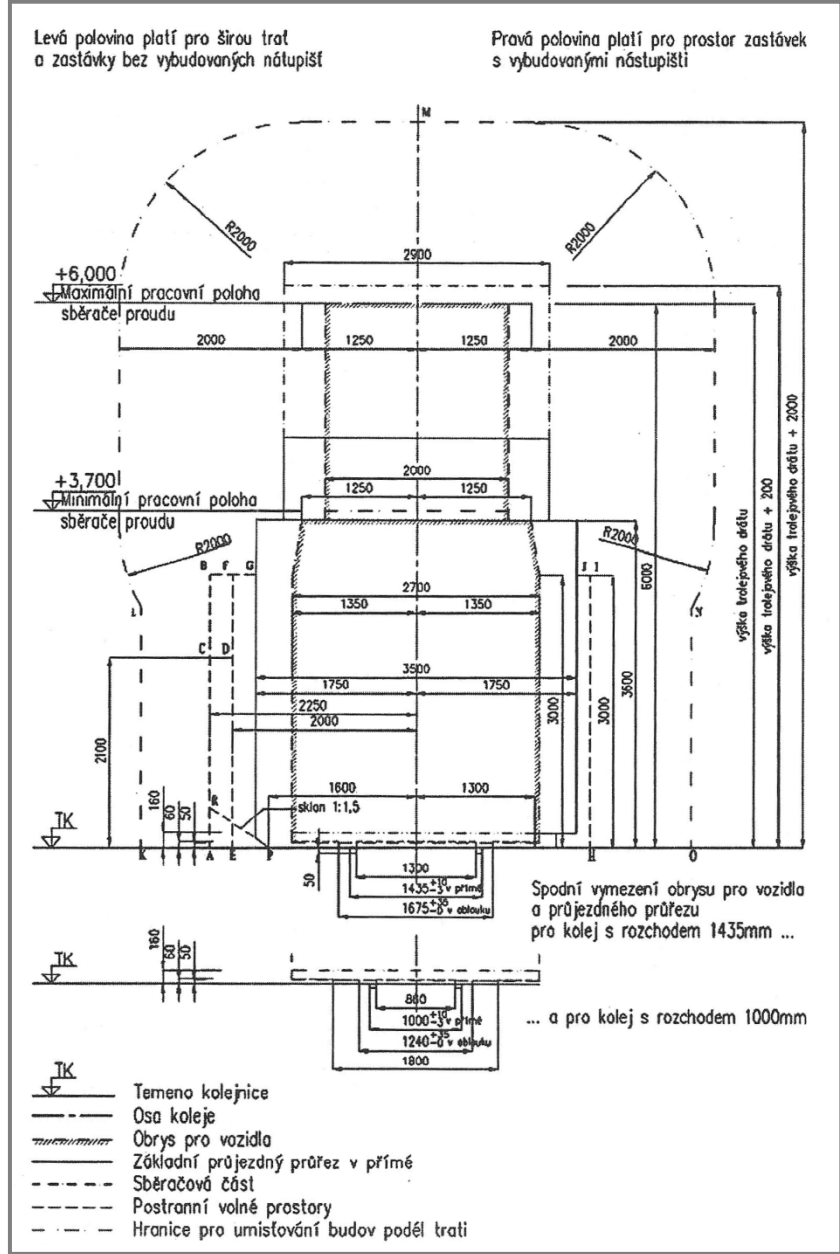


Obr. 27 Schéma dvojkolí s volnými koly [3]

Schopnost centrování u volných kol je mnohem menší než u klasického dvojkolí. Při asymetrickém opotřebení volná kola zcela ztrácí schopnost centrování úplně, což může vést k šikmému chodu podvozku. [3]

Shrnutí obecnějších poznatků, které ještě nebyly zmíněny v předchozích kapitolách, dle literatury [15]:

- střední neotočné podvozky na rozdíl od krajních nezhoršují výrazně jízdní vlastnosti, koncepce tramvaje s krajními podvozky otočnými a vnitřními pevnými (kategorie b a e na obr. 12) je tedy dobrým kompromisem
- pro zachování výšky podlahy 350 mm v celé délce vozu (resp. i v uličce mezi koly) je nutné použít beznápravové podvozky, buď s příčnou nebo podélnou mechanickou vazbou nebo s mechanicky nezávislým pohonem volně otočných kol
- podvozky s klasickým dvojkolím lze u 100% nízkopodlažních tramvají použít také, avšak s tím, že ulička v místech podvozku stoupá do výšky 450 mm (schody nejsou nutné) nad temenem kolejnice
- u tramvají provozovaných na rovinatých tratích se sklonem do 20 ‰ stačí pohánět pouze polovinu tramvajových kol, mohou se tedy kombinovat trakční a běžné podvozky
- u tramvají provozovaných na tratích s náročnými sklonovými poměry (80 ‰) je vhodné pohánět všechna tramvajová kola, tedy používat pouze trakční podvozky
- pro tratě s velkým počtem oblouků malých poloměrů jsou vhodné tramvaje s alespoň krajními podvozky otočnými, čímž je také umožněna větší délka krajních článků, což přispívá k rovnoměrnějšímu zatížení jednotlivých podvozků



1. *Journal of the American Medical Association*, 1997; 277: 1001-1005.

Tab. 1 Rozšíření obrysu v oblouku koleje u tramvají [3]

poloměr oblouku R [m]	rozšíření δ_a [mm]	rozšíření δ_i [mm]
20	650	310
22	600	280
25	530	235
30	440	185
35	380	150
40	330	125
45	290	105
50	260	85
75	165	35
100	115	10
150	65	5
200	45	0
250	30	0
300	20	0
400	15	0
500	10	0
700	5	0
1000	0	0

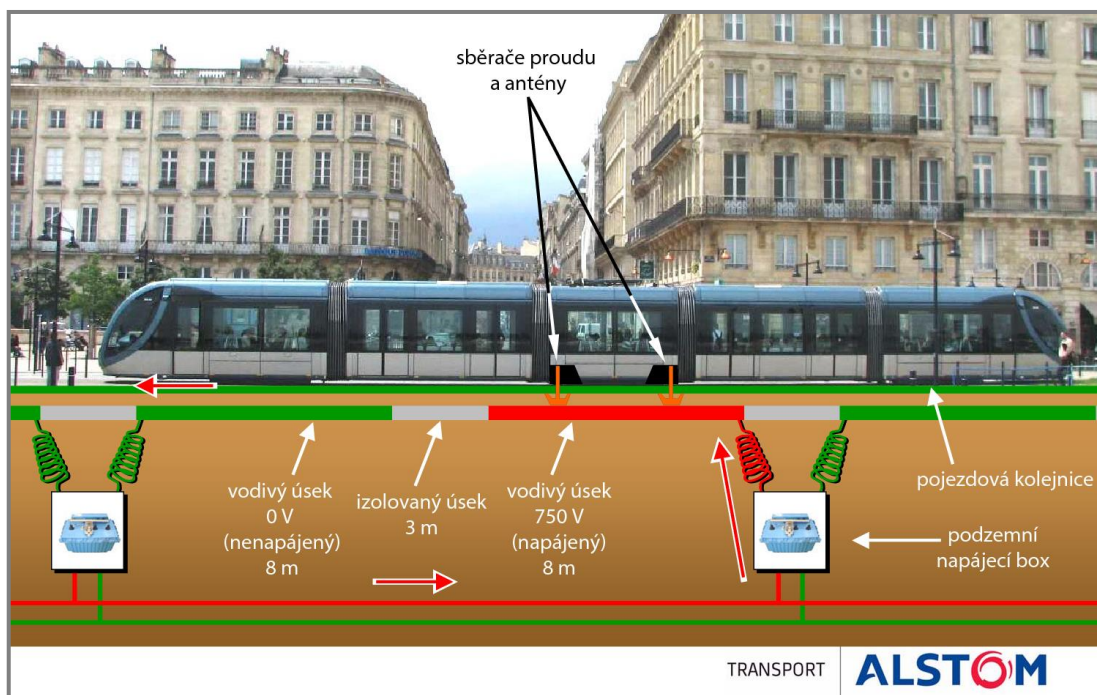
Hodnoty v prostředním sloupci platí pro přesah ve vnější části oblouku a hodnoty v pravém sloupci ve vnitřní části oblouku.

1.2.4 Napájení

1.2.4

V současnosti se hledají alternativy k napájení tramvají přes sběrač z trolejového vedení. Jednou z již poměrně běžně používaných možností je nahradit troleje třetí kolejnicí. Na rozdíl od metra ale u tramvají dochází k pohybu osob a dopravních prostředků v kolejišti, kolejnice tedy jednak musí být v úrovni vozovky a jednak je třeba zajistit, aby nebyla pod napětím ve chvíli, kdy je volně přístupná.

Řešením je napájecí kolejnici rozdělit na izolované úseky kratší než je délka tramvaje a spínat je pouze v momentě, kdy je tramvaj zcela překrývá. Tento systém byl krátce použit už Františkem Křížikem na Karlově mostě. O sto let později, v roce 2004, byl obdobný systém nazvaný APS nasazen v Bordeaux firmou Alstom. Prostřední kolejnice je rozdělena na osmimetrové vodivé úseky střídavě s třímetrovými izolovanými úseky. Uprostřed je tramvaj vybavena dvěma spodními sběrači a pomocí radiového signálu je aktivován vždy napájecí úsek pod tramvají. [16][17]



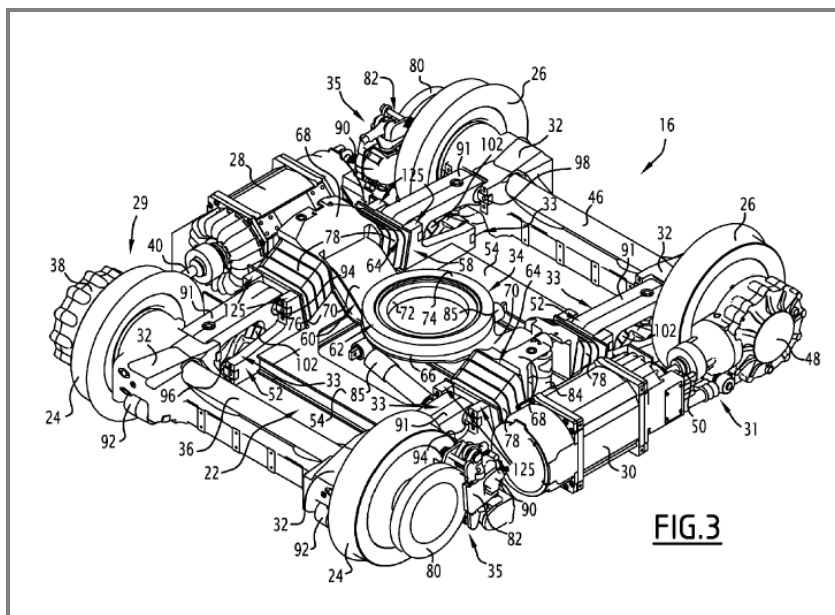
Obr. 29 Princip systému APS od firmy Alstom [16] (upraveno)

Další možností je překlenout úseky v centrech měst bez trolejí pomocí baterií. Tramvajová vozidla je možno vybavit také ultrakapacitory a poměrně výrazně tak snížit spotřebu elektřiny. Na základě zkušebního provozu tramvaje v Mannheimu bylo zjištěno ušetření až 30 % energie. [18]

1.2.5 Podvozky

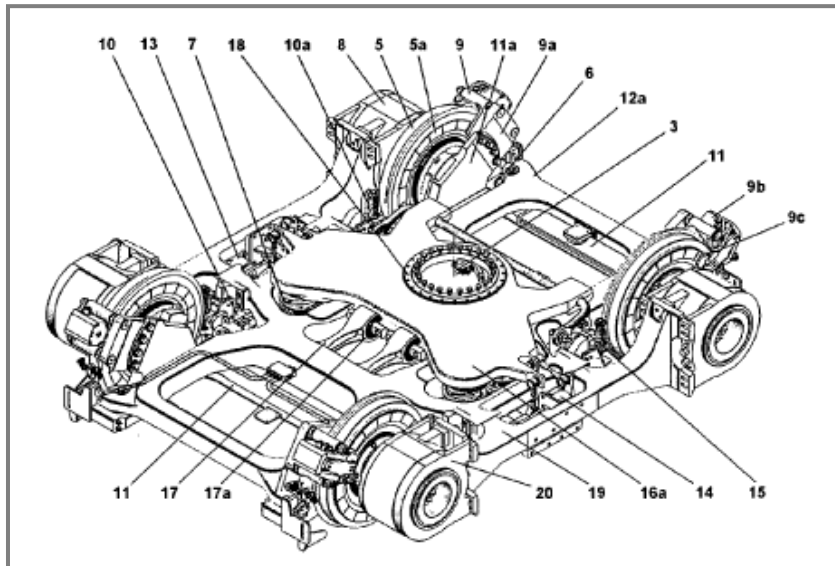
Stejně jako se vyskytuje velké množství koncepcí uspořádání pojezdu a článků, existuje také velké mnoho konstrukcí samotných podvozků. Zásadními rozdíly je to, zda jsou podvozky otočné nebo pevné, zda jsou hnací, a tedy vybaveny trakčními motory a jakým způsobem jsou tyto motory uloženy, zda jsou nápravové nebo beznápravové a jakým způsobem je vyřešeno vypružení podvozku.

Prvním příkladem je podvozek dle patentu firmy Alstom, který je řešen ve variantách trakčního i netrakčního a otočného i pevného podvozku. Tyto podvozky jsou vybaveny klasickými nápravami a i v otočné variantě umožňují zachování nízkopodlažní uličky o šířce 600 – 800 mm s rampami se sklonem menším než 8 %. Celá tramvaj používající tyto podvozky je tedy průchozí bez schodů. Motory u trakčních podvozků jsou umístěny kolmo na osu náprav po stranách podvozku, každý z nich pohání jednu nápravu. Použití těchto podvozků je naznačeno v tramvaji koncepcí s krajními otočnými a středními neotočnými podvozky (ve tří- a pětičláňkové variantě, jde o koncepcí (b) a (e) dle Obr. 24). [19]



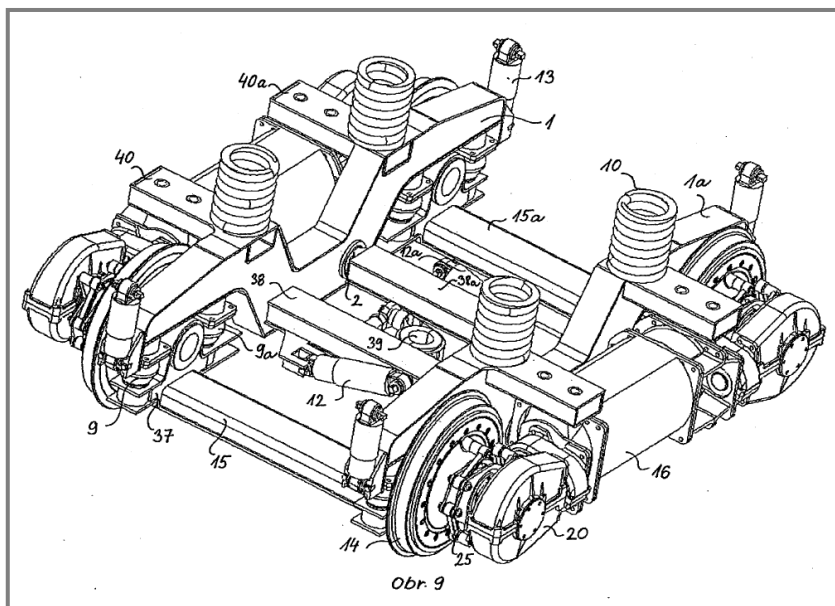
Obr. 30 Schéma otočného podvozku pro nízkopodlažní tramvaj (varianta 1) [19]

Patent VÚKV a. s. (Výzkumný ústav kolejových vozidel) zobrazuje otočné podvozky, které byly použity u tramvaje Škoda 15T. Kola jsou individuálně hnaná motory s permanentními magnety. Krajní podvozky jsou vybaveny jedním excentricky umístěným otočným čepem, prostřední podvozky umístěvané pod kloubové spojení pak dvěma otočnými čepy. [20]



Obr. 31 Schéma otočného krajního podvozku pro nízkopodlažní tramvaj [20]

Posledním příkladem je starší patent firmy ČKD představující neotočný podvozek s trakčními motory uloženými podélně, přičemž kola nejsou spojena nápravou; mechanicky spojena přes motor jsou pouze kola vždy na jedné straně podvozku (viz podélné dvojkolí v kapitole 1.2.2). [21]



Obr. 32 Schéma otočného krajního podvozku pro nízkopodlažní tramvaj [21]

1.3 Designérská analýza

1.3.1 Škoda 15T

Škoda 15T (ForCity Alfa) je vyráběna od roku 2009 pro Prahu a Rigu ve tříčlankovém i čtyřčlankovém provedení. Design vozu navrhl architekt Patrik Kotas.



Obr. 33 Škoda 15T ve verzi pro Prahu [46]

Čelo vozu je lehce skloněné a mírně zakřivené v pohledu z boku, spodní linka čelního skla je pak prohnutá i z čelního pohledu. Tramvaj je členěna především v horizontálním směru – spodní červená linka, nad ní šedá linka a v oblasti oken tvoří horní polovinu především černá plocha. Linky pokračují i do čela vozu, černá plocha je pouze oddělena tenkou červenou linkou kolem čelního skla. Svislé červené linky jsou pak umístěny ještě vprostřed dveří. Poměrně výrazným prvkem jsou v bočním pohledu otočné podvozky. [22]

1.3.2 Škoda 26T

Škoda 26T (ForCity Classic) je 100% nízkopodlažní pětičláňková obousměrná tramvaj vyráběná od roku 2013 pro maďarské město Miskolc. Používá koncepci sudých článků zavěšených mezi lichými, které spočívají na neotočném pojezdu. Toto řešení se do designu tramvaje promítne především tím, že v bočnicích tramvaje není ve spodní části patrné žádné členění. Design navrhlo studio Aufeer Design. [23]



Obr. 34 Škoda 26T pro Miskolc na testování v Plzni [48]

Na tramvaji převažují přímé linie, v některých místech zalomené s malým poloměrem. Výrazným prvkem je předsazení čela pod čelním sklem, které je navíc opticky ještě více odděleno použitou barevnou kombinací. Černá plocha kolem čelního skla pokračuje horní podélnou linií přes celou délku vozidla. Světlomety jsou umístěny ve válcovitých výběžcích.

1.3.3 Škoda 29T/30T

Tramvaje 29T/30T ForCity Plus (29T je jednosměrná verze, 30T obousměrná) jsou vyráběny od roku 2014 pro Bratislavu. Design byl navržen stejným studiem jako předchozí typ. [24]



Obr. 35 Vizualizace Škody 29T pro Bratislavu [24]

Tramvaj má otočné krajní podvozky, což stejně jako u typu 15T vede k výrazně oddělenému krytu podvozku, který v obloucích vybočuje vně vozu. Toto vybočení je ještě zvýrazněno tím, že spodní část bočnice je výrazně zkosena dovnitř, zatímco kryt je svislý. Tramvaj je kompletně v červené barvě, což je barva města Bratislavy. Pouze v oblasti bočních oken a nad čelním sklem je černý pás.

1.3.4 Alstom Citadis 402 (Tours)

Typ Alstom Citadis zahrnuje velké množství tramvají a vyznačuje se tím, že pro každé město používá odlišný design (nejpatrnější jsou odlišná čela). Zde bude popsán typ Alstom Citadis 402 pro francouzské město Tours, kde je nasazován od roku 2013 do nově zbudovaného tramvajového provozu. Podobně jako Škoda 26T jde o 100% nízkopodlažní obousměrnou tramvaj s neotočnými podvozky a zavěšenými články. Tramvaj je navíc vybavena systémem APS. [25]



Obr. 36 Alstom Citadis 402 v Tours [49]

Design od studia RCP Design Global je vcelku minimalistický. Bočnice vozu jsou chromově lesklé, s černým pásem oken uprostřed. Čelní strana je tvořena lesklou černou plochou s obdélníkovým sklem, která je lemována vertikálními světelnými pásy, jež navazují na linie kolejnic. Pásy po celé délce svítí bíle nebo červeně, podle toho zda jde aktuálně o přední nebo zadní čelo. Světlomety jsou nenápadně integrovány do těchto pásů ve spodní části. Dalším netradičním prvkem je svislé černobílé pruhování v úrovni dveří, které po zastavení v zastávce navazuje na stejné pruhy vyznačené na nástupišti. Tramvaj není vybavena vnějšími zpětnými zrcátky. Ty jsou nahrazeny kamerou na boku vozidla mířící dozadu a monitorem v kabině řidiče. Tento systém je použit i u následujících čtyř tramvají.



Obr. 37 Pruhy na dveřích a nástupišti a svítící pásy na čelech [50][51]

1.3.5 Alstom Citadis 302 (Lyon)

Dalším zástupcem z typové řady Alstom Citadis je Alstom Citadis 302 v provedení pro Lyon z roku 2000. Vozidlo vychází ze stejného základu jako předešlý model, což je patrné v bočním pohledu, kde uspořádání článků je shodné, avšak design čel je zcela odlišný a zvoleným barevným řešením působí naprosto rozdílně i samotné články.

1.3.5



Obr. 38 Alstom Citadis 302 v Lyonu [52]

Čelo je velmi organicky tvarované, dominantní je oblouk kolem čelního skla a vyboulení pod ním. Horní linka bočního okna kabiny se svažuje dolů, čímž vzniká opticky velký kus hmoty nad kabinou řidiče. Světlomety jsou v čele zapuštěny, prostor mezi nimi je jinak prost jakýchkoliv dalších prvků.

1.3.6 Alstom Citadis 302 (Casablanca)

Posledním příkladem tramvaje Citadis je rovněž typ 302, avšak o 12 let novější, který je dodáván od roku 2012 do nového tramvajového provozu v Casablance v Maroku. [26]



Obr. 39 Alstom Citadis 302 pro Casablanca [26]

Stejně jako u lyonské tramvaje je čelo poměrně organicky tvarované, ovšem působí daleko umírněněji a kompaktněji. V přední části také není prvek s negativním sklonem. Zajímavý je tmavě šedý pás kolem, který pod okny končí poměrně nízko nad podlahou, čímž nechává dole pouze úzký červený pruh. V krajích je tento pás zakončen dynamickou křivkou, která je součástí čelního sloupku. Druhá hrana sloupku je zase tvořena uzavřenou křivkou kolem čelního okna, uvnitř níž se nachází i šedé předsazení se světly. Čelo vozu je v půdorysu poměrně výrazně zúžené do zaoblené špičky.

1.3.7 Bombardier Flexity Outlook (Marseille)

Bombardier Flexity Outlook taktéž používá různý design čel a i provedení článků se liší. Jde opět o koncepci zavěšených článků při 100% podílu nízké podlahy. Provedení pro Marseille pochází z roku 2007 a prvky designu jsou inspirovány lodí. Zajímavý byl postup, kdy nejprve byla vyhlášena designérská soutěž a následně proběhlo výběrové řízení na výrobce tramvají, který tramvaj podle designérského návrhu vytvoří. Vyhrál právě Bombardier s Flexity Outlook, který musel svoji tramvaj značně přizpůsobit poměrně netradičnímu vzhledu. Tramvaje jsou dodávány od roku 2006. [2][27]



Obr. 40 Bomabarder Flexity Outlook pro Marseille [53][54]

Čelo vozu ve tvaru lodního kýlu je v půdorysu tvořeno půlkruhem. Čelní sklo má v pohledu z boku negativní sklon. Pás oken je nepřerušovaný po celém obvodu vozu, v přední části se pouze zvedá při své zachování výšky. Do čelního okna zasahuje svítící kruhový prvek, který svou barvou indikuje, na jaké lince se vůz nachází. Nad bočními okny se nachází béžový žebrovaný plech – další prvek mající připomínat lodní trup. Interiér je v modré barvě evokující moře a je vybaven dřevěnými sedačkami. [27]

1.3.8 Translohr (Clermont-Ferrand)

1.3.8

Předposledním zástupcem je vozidlo, které podle některých vlastně ani není tramvaj. Jde o tramvaj na pneumatikách, která má pouze jednu vodicí kolej. Vůz téměř totožného vzhledu jezdí ve více městech, zde je na obrázku tramvaj pro francouzské město Clermont-Ferrand.



Obr. 41 Tranlohr v Clermont-Ferrand

Na to, o jak inovativní prostředek jde, je vlastně design poměrně konzervativní, byť celkové tvarování je příjemné a bez zbytečností. Tramvaj má poměrně nízko položenou hranu spodních oken. Další zvláštností jsou klouby vozu, kryté zvenčí

pevnými kryty, přechodový měch je viditelný pouze v interiéru. Jak již je ve Francii tradicí, tramvaj nemá zpětná zrcátka, pouze aerodynamicky tvarované kryty zpětných kamer.

1.3.9 Škoda 13T

Škoda 13T (patřící spolu s příbuznými typy 14T pro Prahu a 16T a 19T pro Wrocław do modelové řady s obchodním názvem Škoda Elektra) je částečně nízkopodlažní (48% podlahy pro cestující) pětičlánková jednosměrná tramvaj dodávaná v letech 2007 až 2011 do Brna.



Obr. 42 Škoda 13T - celkový pohled

Design čel je od studia Porsche Design. Boční okno kabiny řidiče je obdélníkové, avšak výrazně natočené pod úhlem shodným se zkosením čela. Jelikož je tramvaj nízkopodlažní jen částečně, okna v lichých člancích jsou umístěna níž, což reflektuje i výchozí brněnský nátěr zkosením linek v oblasti sloupku. Mezi čelem vozu a bočnicemi není patrná žádná výrazná návaznost.



Obr. 43 Detail čela, pohled shora

V pohledu shora je vidět specifikum nízkopodlažních tramvají – elektrická výzbroj (s výjimkou trakčních motorů) je umístěna na střeše vozidla.

1.3.10 Zhodnocení designu stávajících produktů1.3.10

Z provedené analýzy je patrné, že design tramvají se může ubírat velmi rozdílnými směry. Na jedné straně je to spíše extravagantnost (tramvaje pro Lyon a Marseille), na druhé straně umírněnost (Škoda 15T a 26T, Translohr). První kategorie se vyznačuje především množstvím různě zakřivených linií až organickým tvarováním, druhá kategorie spíše liniemi přímějšími, s několika zlomy nebo mírně zakřivenými plochami.

Modelu Alstom Citadis pro Lyon bych vytknul především „kapličkovitý“ tvar čela a velkou masu hmoty nad kabinou řidiče opticky padající směrem dolů. Flexity Outlook pro Marseille se zase nechal inspirovat lodí v některých ohledech podle mne až příliš doslovně. Některé části působí celkem nesourodě, ačkoliv například samotnou linii oken hodnotím pozitivně. Poměrně diskutabilní je béžový žebrovaný pruh nad okny.

Někde na pomezí těchto dvou kategorií se nachází Škoda Elektra, která má poměrně atypické čelo, avšak tvarování není tak výrazné a i zbytek tramvaje působí obyčejně. Podle mého názoru nepovedená je především nenávaznost právě mezi čelem a boční plochou tramvaje. Dalšími problémy je zvedající se linka bočního okna a také masivní oblouk palubní desky, které omezují zorný úhel ve směru dolů, kde v krajním případě může zůstat řidiči skryta osoba obcházející tramvaj zepředu.

Částečně stranou stojí také Alstom Citadis pro Tours, kde je na jednu stranu použit velmi minimalistický přístup bez složitějšího tvarování, ale zároveň tramvaj působí na první pohled velmi netradičně a obsahuje spoustu originálních prvků z hlediska designérského i funkčního.

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

Z provedených analýz vyplynulo, že tramvajová doprava zažívá v současnosti velký rozvoj, jak na poli technickém tak z hlediska designu. Budují se nové tramvajové provozy, což přináší zajímavou možnost skloubení designu tramvaje se zbytkem infrastruktury. Spousta měst chce mít vlastní tramvaj s originálním designem, po novém designu je tedy stále poptávka. Důležitým poznatkem je, že design čela vozu se často navrhuje nezávisle na zbytku tramvaje, podobně interiér, avšak není to absolutním pravidlem.

2.1 Designérské cíle

Cílem práce bude navrhnout design městské tramvaje se zaměřením na exteriér a základní uspořádání interiéru. Nejdůležitější částí tramvaje je její čelo, kde je mimo jiné potřeba zajistit bezproblémový výhled tramvaje, což bude muset navržený design respektovat. Jak již bylo zmíněno v úvodu, specifikum tramvají je jejich dlouhá životnost a určitá všudypřítomnost v ulicích vedoucí k neustálému setkávání se se stejným produktem po dlouhou dobu.

2.2 Technické parametry

Cílové technické parametry jsou následující: Bude se jednat o nízkopodlažní kloubový tramvajový vůz modulární koncepce, to znamená, že tramvaj bude mít variabilní počet článků a bude moci být v jednosměrném i obousměrném provedení. Nepůjde tedy o krátké jednotlivé vozy, jejichž spřahováním vznikají různé délky, a tedy kapacity souprav. Půjde o tramvaj pokud možno 100% nízkopodlažní (myšlena bezbariérová průchozí ulička po celé délce vozu), která bude použitelná na nové i stávající infrastrukturu.

Předpokládané rozměry jsou tyto:

- šířka – 2,5 m
- výška – 3,5 m
- délka – variabilní (cca 20–50 m)
- normální rozchod (1435 mm)
- hmotnost – variabilní (desítky tun)

2.3 Technické problémy

Technická analýza ukázala, že problematika konstrukce nízkopodlažních tramvají je velmi složitá a za 25 let jejich vývoje vzniklo velké množství způsobů řešení s tím, jak různí výrobci přistupovali k problému různě.

Z technického hlediska je při návrhu tramvaje třeba vyřešit následující problémy a zvolit jejich nejvhodnější řešení: Základním problémem je celkové uspořádání pojezdu tramvaje, s čímž souvisí počet a délka jednotlivých článků, použití otočných nebo pevných podvozků, umístění těchto podvozků vzhledem k článkům – uprostřed článku, v krajích článku, pod kloubovým spojením článků. Z těchto parametrů vylpne počet podvozků, resp. počet náprav, kterých musí být při dané délce takové množství, aby byl zajištěn přijatelný tlak na nápravu. Důležitá je též adheze vozidla, což je počet hnaných podvozků/náprav vzhledem k jejich celkovému počtu.

Co se samotných podvozků týče, je třeba zvolit, zda použít mechanicky nezávislá kola nebo kola spojená nápravou, a v souvislosti s tím vyřešit umístění trakčních motorů a počet motorů na podvozek, jejich typ a výkon.

Jednotlivá řešení mají vliv na opotřebení tratě, opotřebení tramvaje, rychlost průjezdu obloukem, otřesy, výkyvy skříně, hlučnost, dynamiku jízdy a zásadně ovlivňují uspořádání interiéru, podíl plochy nízké podlahy i rozmístění dveří, a tedy přímo ovlivňují ergonomii ve vztahu k cestujícím.

Použitý systém napájení má zase vliv na estetiku tramvajových tratí, kromě klasického napájení z troleje je možno použít napájení z třetí kolejnice anebo využít akumulátory či superkapacitory pro nezávislý pohyb na elektrické síti.

Bude potřeba zvážit všechny dostupné technologie, rozhodnout, které použít, a zakomponovat je vhodně do designérského návrhu.

2.4 Trendy budoucího vývoje

2.4

S prudkým rozvojem tramvají v novém tisíciletí souvisí i nově vyvíjená technická řešení. Běžně jsou již v centrech evropských měst používány systémy pro napájení ze třetí kolejnice, experimentuje se se superkapacitory a bateriemi. Tyto systémy se především uplatňují v nově budovaných nebo rozšiřovaných provozech, dá se předpokládat, že v budoucnu budou využity i u stávajících systémů.

Dalším trendem je bezpochyby automatické řízení bez přítomnosti řidiče, které se již využívá v systémech metra a testuje se u automobilů. To mimo jiné umožní zvětšení prostoru použitelného pro cestující, který obzvlášť u obousměrných tramvají zabírá nezanedbatelné procento plochy vozidla.

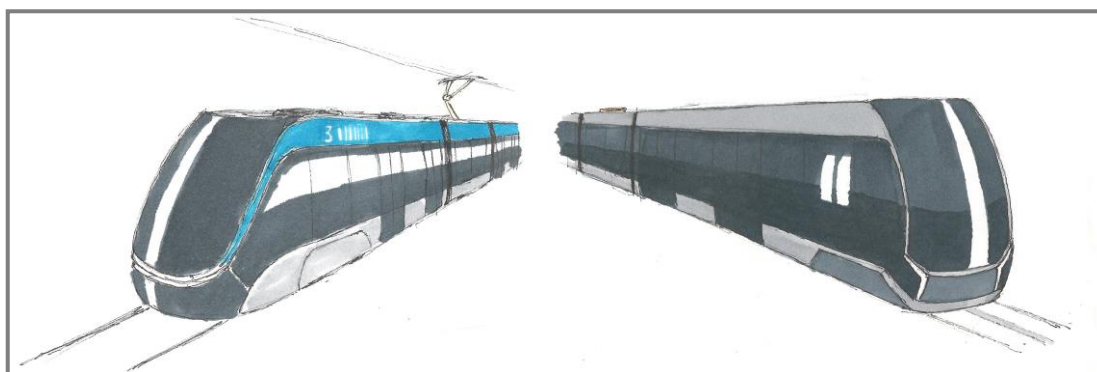
Novým přístupem jsou tramvaje na pneumatikách (podle některých definic jde ovšem o trolejbus s mechanickým naváděním), jejichž budoucnost je však zatím nejistá kvůli problémům s nimi spojenými a proti původním předpokladům podobným provozním nákladům jako u klasické tramvaje.

Co se týká celkové koncepce, je patrná snaha o co největší podíl nízké podlahy, kvůli níž se vyvíjí nové konstrukce podvozků a rámců vozidel. Nejproblematictější jsou stále 100% nízkopodlažní tramvaje s otočnými podvozky, které by byly vhodné do starších provozů a historických center měst s množstvím oblouků na tramvajových tratích. Dílčí problémy mohou být v budoucnu vyřešeny novými lehčími materiály a kompaktnějšími motory i dalšími součástmi.

3 VARIANTNÍ STUDIE DESIGNU

Článeková tramvaj je objekt specifický svými proporcemi, jehož délka je přibližně o řád větší než zbývající dva rozměry. Přirozeně vznikají dlouhé horizontální linie, které jsou narušovány vertikálním členěním. Velkou otázkou bylo, jak moc výrazným způsobem do těchto vodorovných linií zasahovat. Například se nabízí možnost pokračovat spodní hranou oken i přes dveře, což způsobí prakticky zamaskování křídel dveří. Z ergonomického hlediska je však toto řešení naprosto nevhodné, neboť je žádoucí, aby cestující na první pohled identifikovali polohu dveří a mohli se připravit na nástup. Proto je u všech variant zvoleno prosklení dveří až téměř do úrovně podlahy. Jednoznačně nejvýraznější částí tramvaje z pohledu designu je čelo a jeho návaznost na boční linie.

Bylo třeba si také uvědomit, že tramvaj je většinu času vidět z podhledu (výška očí je přibližně v polovině výšky skříně), a tvarové řešení může působit odlišně než při pohledu na malý model z nadhledu.



Obr. 44 Skici variantních návrhů

Proces designérského návrhu začínal hledáním nosných linek ve skicích a v průběhu tohoto skicování bylo vyzkoušeno velké množství možností těchto návazností a nejlepší varianty byly dále rozpracovávány v dalších podrobnějších skicích a v hmotových modelech jak virtuálních v počítači, tak fyzických z průmyslové plastelíny.

Cílem variantních studií bylo zpracovat tři různé designérské návrhy, z nichž každý bude vycházet z odlišného principu a bude mít svůj výraz.

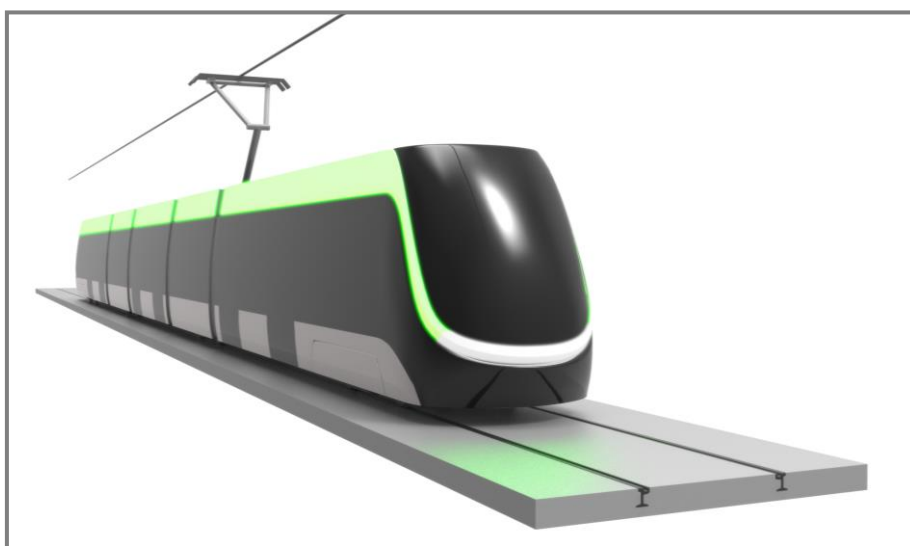
3.1 Varianta 1

3.1



Obr. 45 Koncepční model první varianty

První varianta využívá převážně organického tvarování, které je založeno na křivkách navazujících na boční linie a obepínající čelo vozu. Dominující je zejména světelný pás, který probíhá po celé délce nad bočními okny a dveřmi a dále pokračuje A sloupkem pod čelní sklo, kde jsou v něm integrovány světlomety.



Obr. 46 Vizualizace první varianty

V bočním pohledu na čelní část vozu bylo potřeba vyřešit problém ukončení nebo napojení spodní linie bočního okna, který byl vytvořen plynulým průběhem světelného pásu. Nakonec bylo nalezeno řešení v podobě spodní linky zakřivené dolů, která tak zrcadlí průběh horní křivky. Okenní pás tím pádem navazuje na přední masku, která

má leskle černou povrchovou úpravu, stejně jako sloupky a další neprůhledné plochy kolem bočních oken a dveří.

V příčném řezu respektuje profil tramvaje měkké tvarování, a boční plocha je tudíž prohnutá, přičemž se více zužuje směrem vzhůru.



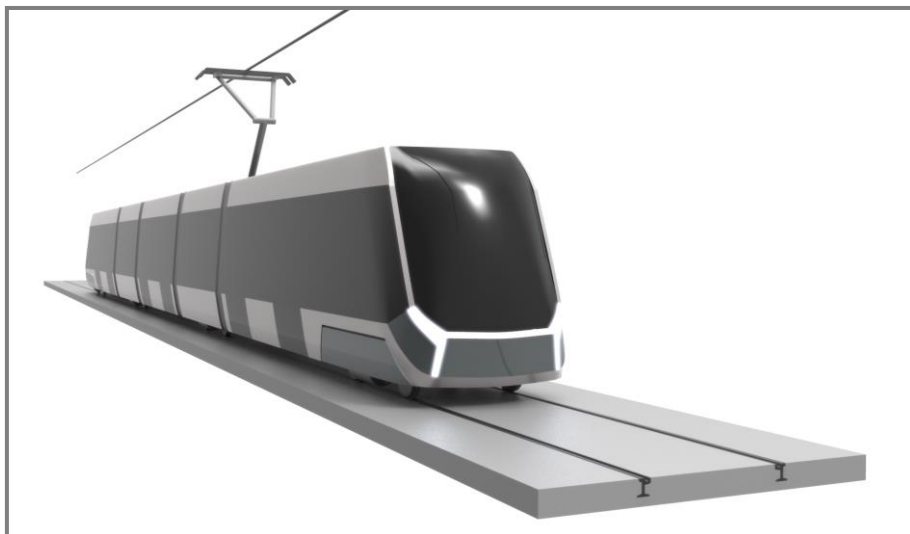
Obr. 47 Boční pohled na první variantu

3.2 Varianta 2



Obr. 48 Koncepční model druhé varianty

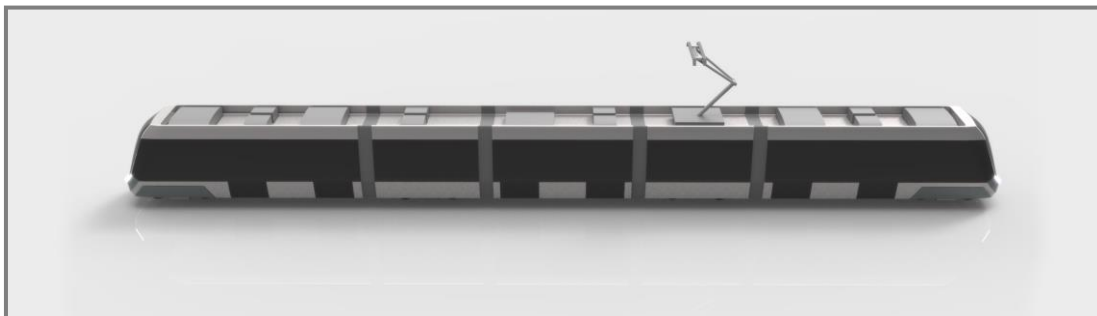
Druhá varianta vychází ze stejného konstrukčního uspořádání jako předchozí, to znamená, že krajní podvozky jsou otočné, zatímco prostřední pevné. Nosnou myšlenkou bylo využít krytu krajního podvozku, který v obloucích vybočuje z profilu tramvaje, coby tvarotvorného prvku čela vozu. Na rozdíl od první varianty je tato založena na lomených plochách a liniích, které jsou jen v některých částech mírně prohnuté.



Obr. 49 Vizualizace druhé varianty

Svažující se boční hrana krytu podvozku se odráží ve zkosených plochách mezi bokem a čelem vozu. Tento odraz podporuje i barevné členění, kdy kryt je ve stejném odstínu jako plochy pod čelním oknem a mezi nimi probíhající plocha v druhém odstínu navazující na bočnice, která pokračuje ke spodní hraně čela. Světlomety kopírují dva zlomy těchto ploch a vytváří obrácené písmeno L s tupějším úhlem.

V příčném řezu je obrys dvakrát zlomený, vždy na hranici černého pásu oken. Plocha pod okny má negativní sklon, okna a bočnice nad nimi sklon opačný.



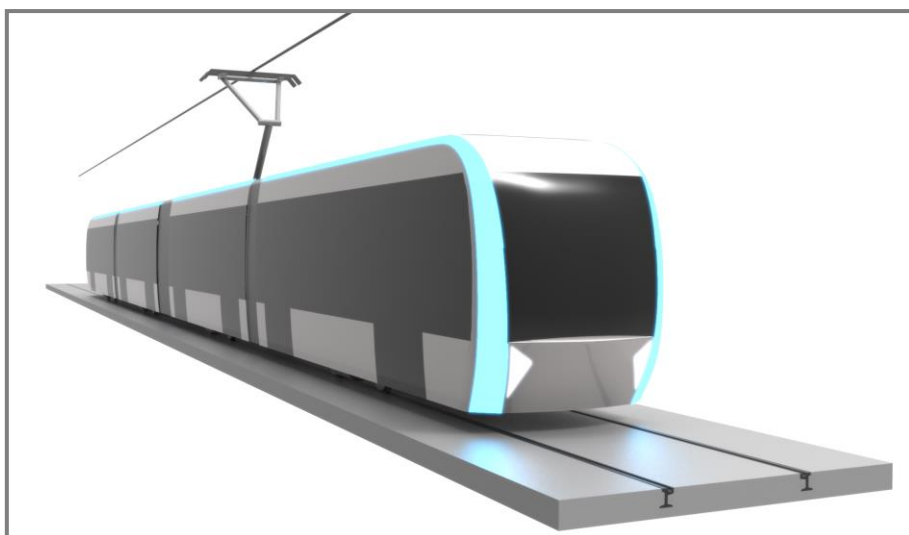
Obr. 50 Boční pohled na druhou variantu

3.3 Varianta 3



Obr. 51 Koncepční model třetí varianty

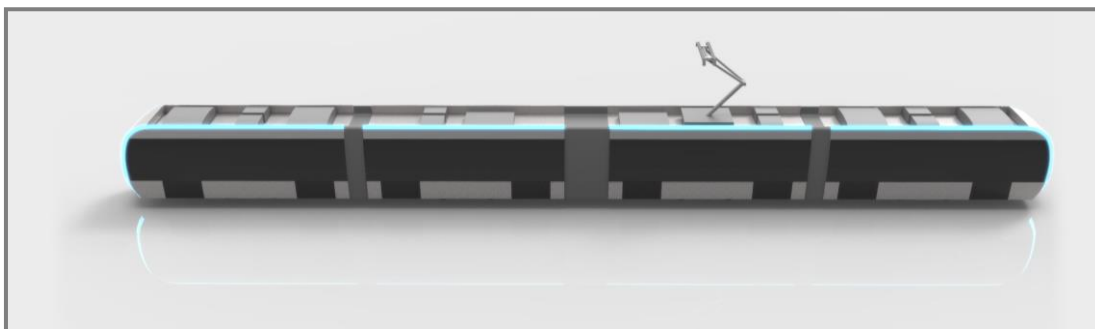
Varianta 3 je koncipována jako tramvajový vůz pro automatický provoz bez řidiče. To přináší z pohledu ergonomie dvě výhody. Za prvé odpadá problém s pozorovacími úhly z místa řidiče (tím pádem není třeba řešit šířku sloupků) a za druhé je významně zvětšen prostor pro cestující. Tramvaj má také odlišné konstrukční uspořádání. Délky všech článků jsou téměř shodné, pod každým z nich je umístěn podvozek. U čtyřčlánkové verze je prostřední kloub dvojitý, a tedy širší než zbývající dva.



Obr. 52 Vizualizace třetí varianty

Tato varianta pracuje spíše s minimalistickým přístupem. Bočnice jsou tvořeny téměř rovnou plochou, čelní plocha je zahnutá pouze v jednom směru. Boční obrys obepíná

podobně jako u první varianty světelný pás, avšak není propojen v čelním pohledu, nýbrž pokračuje po zkosené přední hraně až ke spodní straně vozidla. V přední ploše jsou umístěny světlomety trojúhelníkového tvaru.



Obr. 53 Boční pohled na třetí variantu

4 TVAROVÉ ŘEŠENÍ

4.1 Základní tvarování



Obr. 54 Vizualizace finálního tvarového řešení – přední pohled

Finální varianta vychází přímo z první organičtější tvarované varianty a dále ji rozvádí. Došlo k optimalizaci křivek a ploch v čelní části, zúžen byl A sloupek. Nejvýraznější změnou je přerušení světelného pásu v čele vozu. Na horní barevný pás tak navazují světlomety, které jsou posléze ukončeny, a linie pokračuje pouze tvarově bez podsvícení.



Obr. 55 Finální tvarové řešení – zadní pohled (jednosměrná verze)

Tramvaj používá tvarově shodná čela pro přední i zadní konec tramvaje nejen u obousměrné, ale i jednosměrné verze. Toto řešení je u modulárních koncepcí obvyklé, jelikož snižuje množství unikátních dílů. Zároveň v případě současného provozování obousměrných i jednosměrných verzí dochází k lepšímu sjednocení vozového parku.

4.2 Dělení ploch

4.2

Přední kryt podvozku, jehož výraznější spára je nutná kvůli vytáčení těchto podvozků spolu s krytem v obloucích, také odráží měkké tvarování a boční hrany jsou tvořeny křivkami. Kryty pevných podvozků, které se za jízdy nevyklápějí, jsou odděleny pouze svislou, méně nápadnou spárou, podobně jako spáry mezi jednotlivými díly bočnic, které navazují na spáry ve sloupcích oken.



Obr. 56 Finální tvarové řešení – detail čelní části

V místě největšího přiblížení podokenní a nadokenní křivky se nachází spára kolmá na tyto křivky, která odděluje okenní pás od čelní masky. Boční okno v oblasti kabiny řidiče kopíruje snižující se spodní linii a je protaženo až k této spáře. K této spáře je zarovnána i vnější hrana čelních světlometů.

Nad horním rámem oken a dveří probíhá po celé délce další horizontální dělicí spára, nad ní však ještě pokračuje černá plocha a teprve výše je boční černý pás oddělen od horního barevného pruhu.

4.3 Střecha

4.3

Horní světelný pás z větší části přesahuje výšku samotné střechy a tvoří bočnice zakrývající kontejnery elektrické výzbroje na střeše. V principu by bylo možno zakrývat tyto komponenty i shora, avšak za cenu zhoršeného servisního přístupu k těmto součástem při údržbě v depu, proto se toto řešení používá u současných

tramvají jen zřídka, byť např. výrobce Alstom toto řešení nabízí.[28] Případný estetický přínos je také sporný. Většinu času je tramvaj pozorována z pohledu z úrovně ulice, kdy střešní kontejnery nejsou viditelné ani bez vrchního krytu, dále by krytování stejně bylo narušeno pantografem a nutnými výdechy klimatizace a dalších komponent a nakonec jde o subjektivní záležitost, částečně odhalená technická část může mít také svoji estetickou hodnotu.



Obr. 57 Finální tvarové řešení – pohled z nadhledu

Pracovat se dá i s tvarem jednotlivých kontejnerů, některé byly v tomto návrhu zkoseny a klimatizační jednotky mají prohnutou vrchní plochu, kopírující částečně prohnutí vrchní linie čela (která je prohnutá jak v horizontálním, tak ve vertikálním směru).

4.4 Dveře

Většina plochy dveří je tvořena skleněnou výplní, úzký rám dveří má stejnou povrchovou úpravu jako rámy kolem oken. Tlačítka poptávkového otevírání dveří jsou integrována do dveřních křídel. Umístěna jsou poblíž středu dveří a místo běžně používaného kruhu jsou trojúhelníkového tvaru, čímž přirozeně evokují svoji funkci, jelikož tvoří šipky naznačující směr otevírání dveří. Po vnitřním rámu dveřních křídel probíhá vedle těsnících gum vertikální linie, která uhýbá před tlačítky a kopíruje jejich tvar zvenčí. Tento pás je součástí světelné signalizace dveří a bude podrobněji popsán v kapitole Barevné a grafické řešení. Tlačítka s pásem mírně přesahují šířku rámu a zasahují tedy svým trojúhelníkovým tvarem do skleněné výplně.



Obr. 58 Detailní pohled na dveře

4.5 Interiér

4.5

Tvarové řešení bylo zaměřeno především na exteriér, přesto zde byla snaha i v interiéru použít jednoduché a čisté tvarování vyplývající z funkce. Boční obložení kopíruje vnější profilovou křivku, celý prostor se tedy směrem ke stropu postupně zužuje. V prostoru mezi okny a stropem je zkosená plocha, narušená jen v prostoru dveří, kde jsou nad nimi umístěny kryty dveřních pohonů. Na stropě je ve dvou pásech zapuštěno vnitřní osvětlení. Ve dveřním prostoru pás světla na straně blíže ke dveřím (u obousměrné varianty oba pásy) vybočuje směrem ven, čímž jednak naznačuje polohu dveří a jednak lépe osvětluje nástupní prostor.

Výrazným prvkem v interiéru jsou přechodové měchy kloubového spojení článků, které jsou z obou stran ukončeny žebry v krajích článků. Ta svým tvarem kopírují zakřivení bočnic i mírné prohnutí stropu, pouze ve spodní části jsou ukosena směrem ke středu, čímž dochází k zúžení podlahy v místě průchodu mezi články. Toto zúžení má ryze technický, resp. geometrický důvod, který na první pohled nemusí být zřejmý. V podlaze je půlkruhovátá točna, kde se vůči sobě natáčí jednotlivé díly podlahy. Z logiky věci vyplývá, že přechodový měch musí v krajích tuto točnu překrývat, jinak by v podlaze vznikl prostor vedle ní, který by nebylo možno nijak uzavřít, neboť se v něm vůči sobě jednotlivé články přibližují a oddalují. Pokud by tyto měchy nebyly zúženy, točna by musela mít poloměr rovný téměř polovině šířky vozu a zasahovala by výrazně do interiéru v podélném směru, což by bylo problematické především v prostoru dveří a prostoru pro kočárek, kam by také zasahovala.

5 KONSTRUKČNĚ TECHNOLOGICKÉ A ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ

5.1 Technické řešení

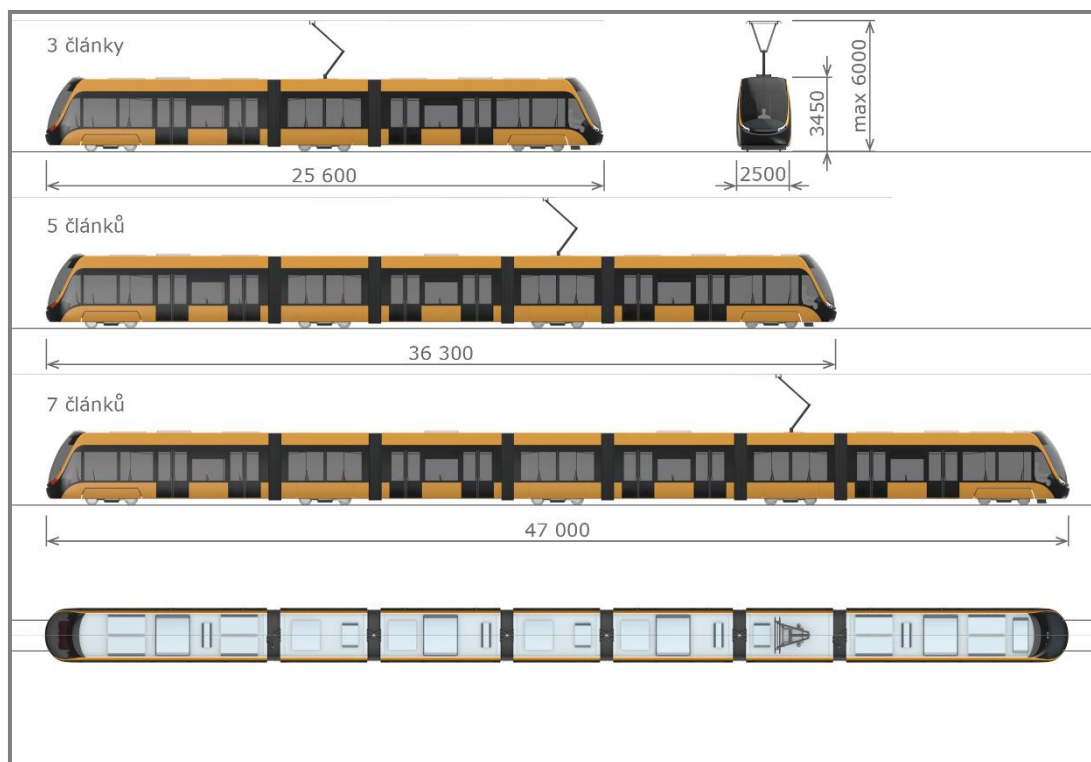
Použitá koncepce tramvaje využívá kombinaci krajních otočných podvozků a pevných středních podvozků. Prostřední článek je zavěšený mezi dvěma články s pevnými podvozky, krajní články spočívají na dvou bodech – kloubovém spojení s následujícím článkem a čepu otočného podvozku. Otočné podvozky v krajních článcích zaručují lepší jízdní vlastnosti a menší opotřebení tratě i tramvaje při nájezdu do a jízdě v oblouku. Tramvaj je tedy vhodná do center měst i na starší infrastrukturu. Jak vyplynulo z rešerše, pevné podvozky ve vnitřních článcích jízdní vlastnosti výrazněji nezhoršují. Krajní podvozky jsou opatřeny výklopným krytem, který při jízdě v obloucích mírně vystupuje z bočnice.

Tramvaj je modulární koncepce, je možno měnit počet článků (3, 5, 7), krajní a zavěšený článek je teoreticky možno zkrátit/prodloužit. Samozřejmostí je jednosměrné i obousměrné provedení. Tříčláňkové verze je vybavena čtyřmi, pětičláňková šesti a sedmičláňková osmi dvoukřídlými předsuvnými dveřmi, ačkoliv konkrétní umístění a počet dveří je u modulární tramvaje také předmětem volby.

V prezentované variantě je tramvaj vybavena systémem APS, což se na vzhledu vozu projeví sice minimálně, pouze v úsecích vybavených třetí kolejnicí se tramvaj pohybuje se složeným pantografem, zato má výrazný vliv na samotnou estetiku tratě, která je zbavena trolejového vedení a sloupů jej nesoucích.

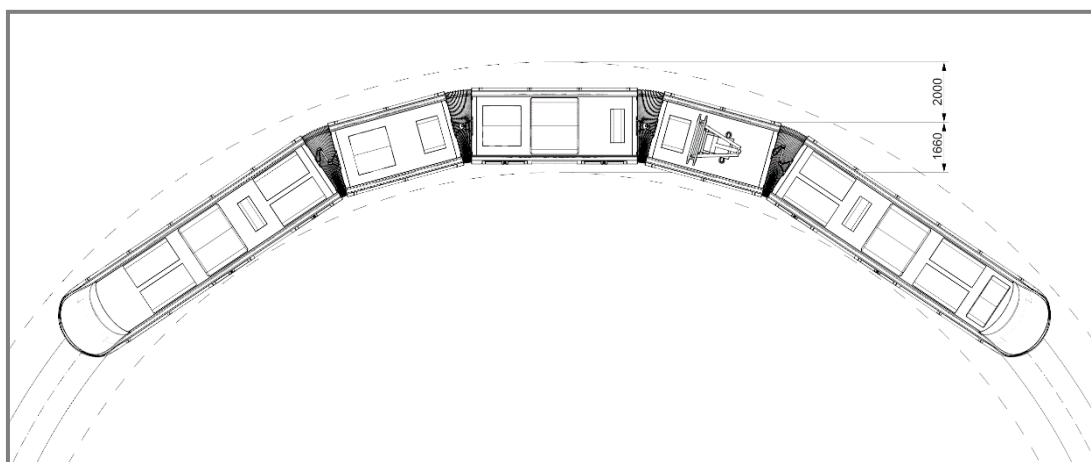
5.1.1 Rozměry

Délka tramvaje se liší podle počtu článků: tříčláňková verze měří 25 metrů, pětičláňková verze má délku 36 metrů a sedmičláňková verze 47 metrů. Šířka skříně v nejširším místě je 2,5 metru. Výška tramvaje od temene kolejnice po střešku je 3,5 metru (bez pantografu). Pantograf může dosáhnout maximální výšky 6 metrů.



Obr. 59 Základní rozměry tří délkových provedení

Na obrázku níže je znázorněno vybočení obrysu tramvaje v oblouku. Největší hodnoty vybočení pochopitelně dosahuje v nejmenším přípustném poloměru oblouku, ten je dle normy 20 metrů (a to pouze ve výjimečných případech). Vnější vybočení je největší na čele vozu, přibližně v místě A sloupku, zde je obrys vozu od osy kolejí vzdálen 1630 mm, což je výchylka o 380 mm oproti jízdě přímo. Největší vnitřní vybočení nastává v krajních člancích v oblasti prvních dveří, zde je obrys vzdálen 1570 mm od osy kolejnice (320 mm navíc oproti obrysu na přímé trati).

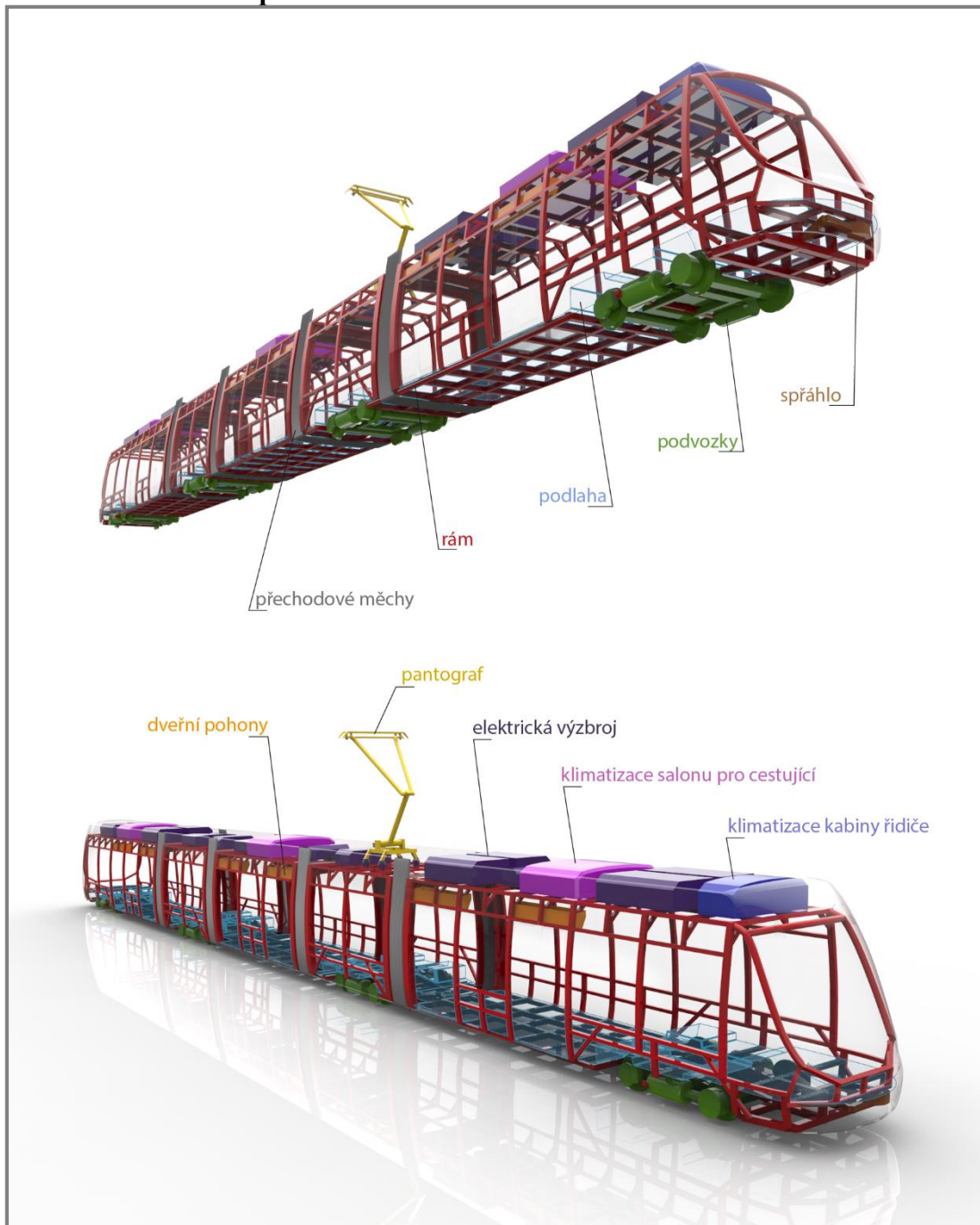


Obr. 60 Vozidlo v oblouku o minimálním povoleném poloměru 20 metrů (vnější čárkovaná čára – dovolené rozšíření obrysu vozidla v oblouku pro daný poloměr dle ČSN 28 0318)

Po sečtení normou daného obrysu vozidla a jeho dovoleném rozšíření dle tab. 1 dostaneme maximální možné vychýlení 2000 mm vně od osy koleje a 1660 mm vnitřně od osy koleje. Vychýlení skříně v minimálním oblouku je tedy v obou

případech v normě. V případě většího vybočení je rezerva taková, že krajní článek by mohl být teoreticky prodloužen až o 1 m v oblasti mezi krajním podvozkem a čelem vozu, takže by se před krajní podvozek ještě mohly umístit jednokřídlé dveře, vše ovšem také záleží na požadované celkové délce vozu.

5.1.2 Konstrukční uspořádání



Obr. 61 Schéma konstrukčního uspořádání

Rám vozu krajních článků je usazen na dvou bodech – otočném čepu krajního podvozku a čepu v kloubovém spojení článků pod podlahou vozu. Sudé články jsou posazeny na pevných podvozcích a liché vnitřní články jsou zavěšeny na čepch

v kloubech sousedících článků. Před krajním podvozkem pod kabinou řidiče je umístěno skládací spřáhlo, sloužící pouze pro nouzový odtah, jelikož s provozem v soupravách se u takto dlouhých článkových městských tramvají nepočítá.

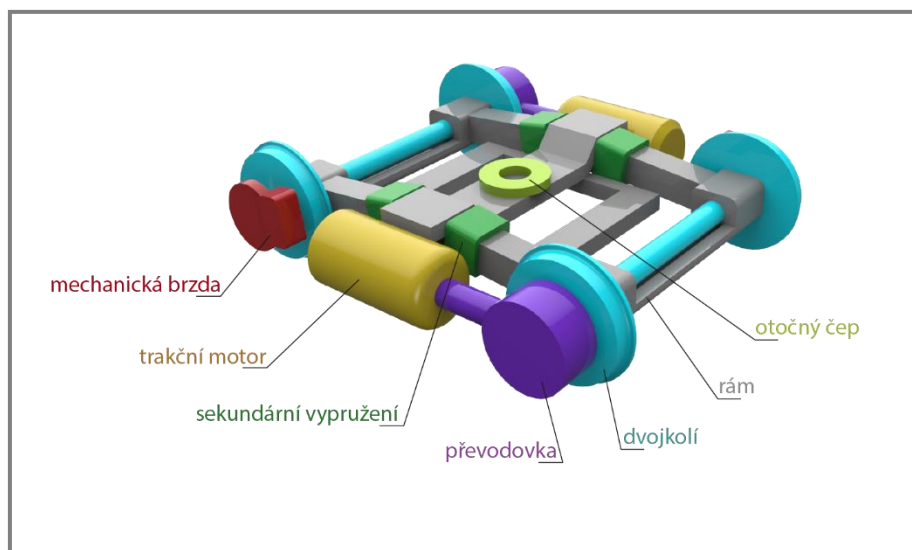
Na střeše vozidla jsou umístěny zbývající součásti elektrické výzbroje, mezi něž patří měniče, řídicí obvody, brzdové odporníky, pantograf, 24V baterie, silová kabeláž, dále klimatizace kabiny řidiče a klimatizace salonu pro cestující. V případě, že by těmito systémy byla tramvaj vybavena, nacházely by se zde také ultrakapacitory nebo přídavné baterie pro provoz bez trolejového vedení. Umístění všech těchto komponentů na střeše je vynuceno nízkopodlažností vozidla a oproti starším vysokopodlažním tramvajím s sebou nese potřebu tužšího rámu a střešních výztuží, což se mimo jiné projeví v šířce sloupků.

5.1.3 Podvozky

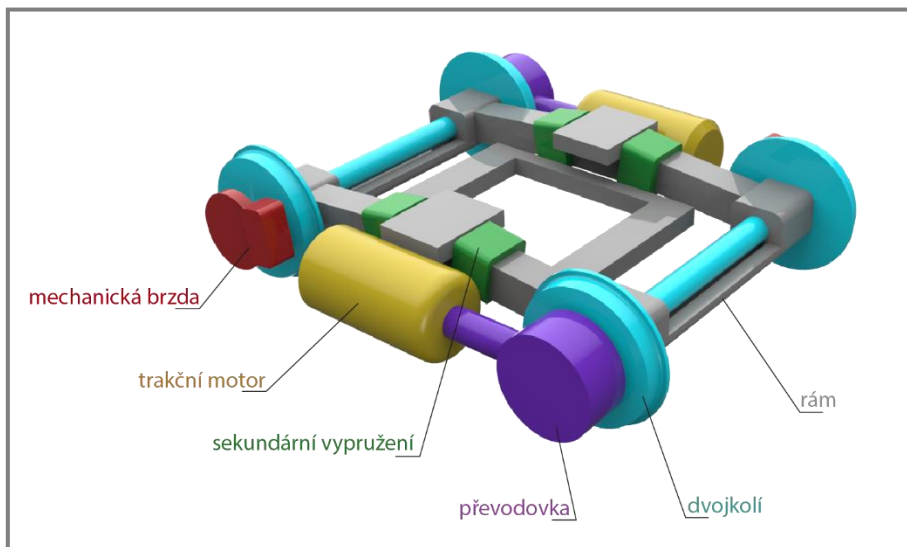
5.1.3

Použité podvozky vycházejí z koncepce dle patentu firmy Alstom [19], které i u otočné varianty umožňují zachování bezbariérové uličky mezi koly při použití pevných dvojkolí s nápravami, čímž je zaručeno rovnoměrnější opotřebení kol i kolejnic. Trakční motory jsou uloženy podélně vně rámu podvozku a každý motor pohání individuálně vždy jednu nápravu. Z vnější strany každé nápravy je umístěna na jedné straně převodovka a na protější straně kotoučová brzda. Sekundární vypružení (odpružení podvozku od skříně vozu) je řešeno gumokovovými pružinami mezi příčnickem s čepem a rámem podvozku. Nápravy jsou umístěny na kyvných ramenech s primárním vypružením. Mezi koly je nad kolejnicí umístěna magnetická kolejnicová brzda. Uspořádání pevného podvozku je shodné s otočným s výjimkou absence otočného čepu a tedy odlišného uchycení k rámu vozidla.

Trakční motory tvoří asynchronní elektromotory s výkonem až 100 kW, celkový výkon tramvaje tak může být při všech hnaných podvozcích 600, resp. 800 a 1000 kW u tří-, resp. pěti- a sedmičlánkové verze. Ne všechny podvozky musí být nutně trakční, záleží vždy na místních podmínkách provozu, u tříčlánkové varianty je možné mít hnané pouze dva podvozky ze tří, u pětičlánkové dva ze čtyř a u sedmičlánkové tři z pěti podvozků.



Obr. 62 Schéma otočného podvozku



Obr. 63 Schéma pevného podvozku

5.2 Ergonomické řešení

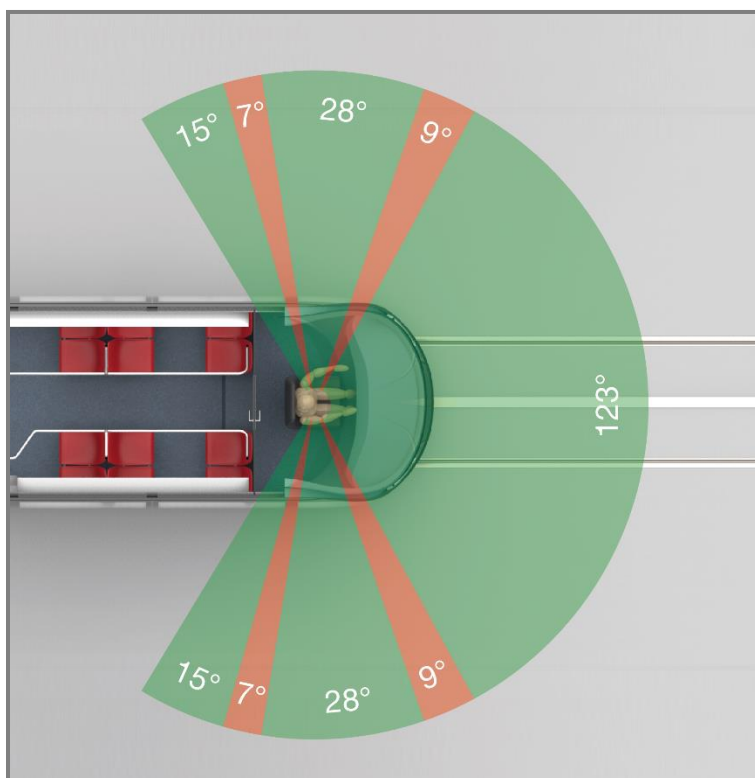
5.2.1 Rozměry vztahující se k ergonomii

Tramvaj je 100% nízkopodlažní, nástupní hrana u všech dveří je ve výšce 350 mm nad temenem kolejnice. Mezi koly je zachována ulička bez schodů o šířce 650 mm, která se pomocí šikmých ramp se sklonem 7° zvedá do výšky 480 mm (rozdíl úrovní podlahy 130 mm). Podlaha kabiny řidiče je ve výšce 680 mm. Křídla dveří jsou široká 750 mm, světlá šířka dveřního otvoru po otevření dveří je standardních 1300 mm, světlá výška 2100 mm.

5.2.2 Výhledové úhly

Výhled šikmo vpřed je omezen A sloupky, jejichž šířka činí 17 cm, což znamená zakrytí zorného pole přibližně 9°. Mezi těmito sloupky je 120° neomezeného výhledu vpřed. Další sloupky jsou umístěny až za úroveň hlavy řidiče a zakrývají necelých 7° zorného pole.

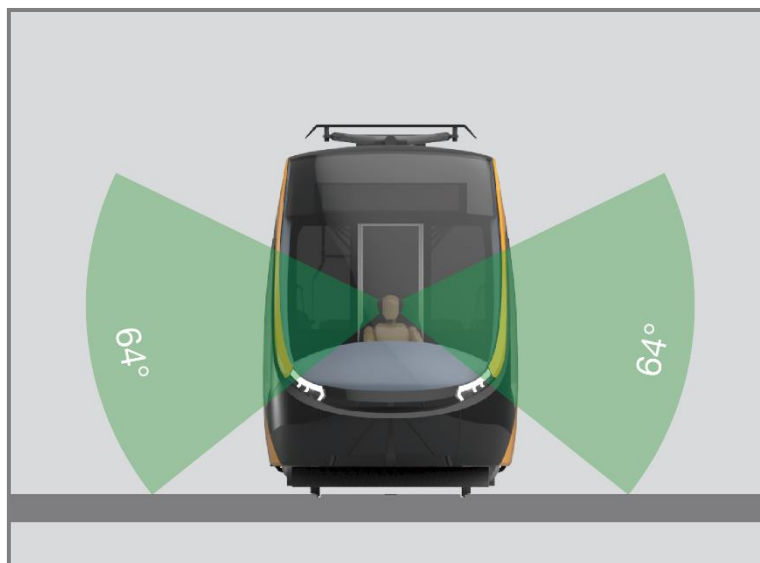
Důležitý je také výhled těsně před vůz, kde se mohou pohybovat např. osoby vystupující z vozu. Výhledový úhel je zde takový, že i 120 cm vysoké dítě přecházející těsně před vozem může řidič stále spatřit. Navíc výrazně snížená linka bočního okna umožňuje řidiči spatřit s předstihem i osoby velmi nízké postavy pohybující se podél tramvaje před její čelo.



Obr. 64 Výhledové úhly v horizontálním směru



Obr. 65 Výhledové úhly ve vertikálním směru při pohledu vpřed



Obr. 66 Výhledové úhly ve vertikálním směru při pohledu vbok

5.2.3 Uspořádání interiéru

Počet a uspořádání sedadel v interiéru a tedy i celková obsaditelnost je závislá na konkrétní konfiguraci, tedy především počet článků a jednosměrnost či obousměrnost. Další vliv může mít počet dveří, počet míst pro kočárky/handicapované a nakonec taky provozovatelem požadovaný poměr sedících ku stojícím cestujícím. Také je třeba počítat s tím, že je omezena nosnost, na kterou lze tramvaj dimenzovat, z tohoto důvodu tedy nelze mít tramvaj s malým počtem sedadel. V návrhu se bude počítat s maximálním počtem dveří (vždy dvoje v každém lichém článku) a dvěma prostory pro kočárky/invalidní vozíky.



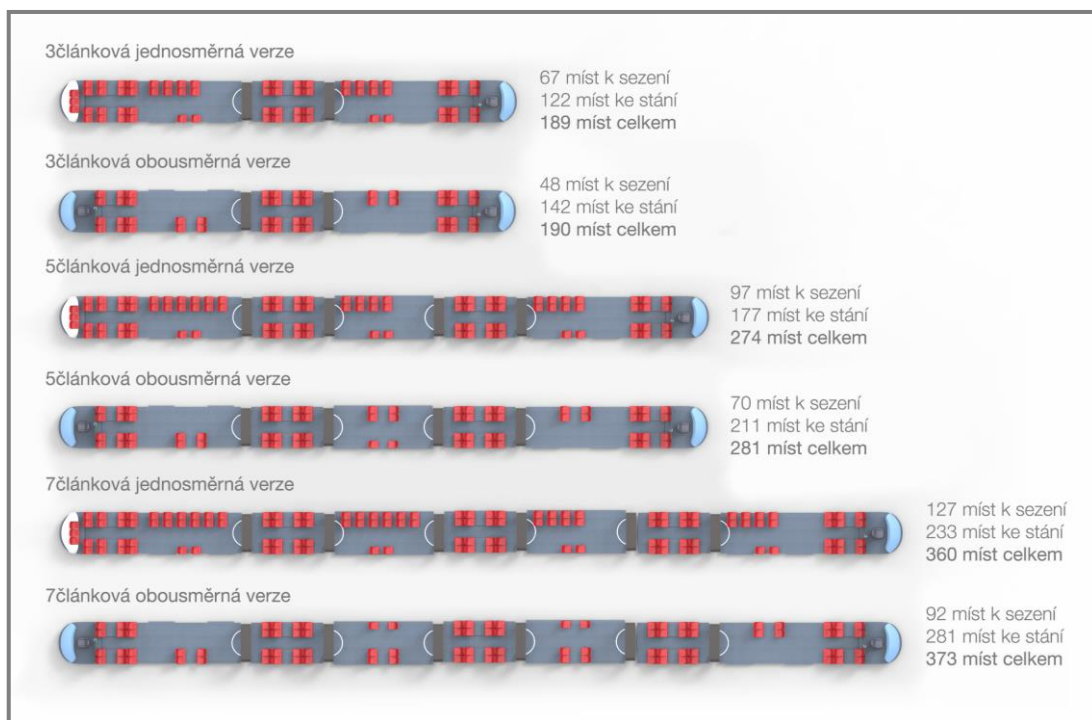
Obr. 67 Vizualizace interiéru

Zatímco počet míst k sezení je pevně dán počtem sedadel, počet míst ke stání je těžší jednoznačně určit. Většinou se počítá z podlahové plochy určené ke stání při určité průměrné hustotě osob na metr čtvereční. Zde se setkáváme s hodnotami 4, 5 i 8 osob/m². Poslední jmenovaná hodnota je spíše teoretická a jde o maximální hodnotu, při které je dosaženo užité hmotnosti vozidla, v běžném provozu je taková hustota cestujících jen těžko dosažitelná.[29] Západní výrobci nejčastěji uvádějí 4 os./m², zde si lze představit, že na vytížených úsecích během špičky může počet osob být dočasně i vyšší. Pro srovnání jsou v následující tabulce uvedeny hodnoty pro všechny tři hustoty stojících cestujících. Zde je patrné, že při 8 os./m² dochází k výraznému nárůstu počtu míst ke stání, avšak výsledné hodnoty jsou spíše nereálné. Do plochy ke stání jsou zahrnuty i plochy pro kočárky, v případě jejich přítomnosti je pochopitelně počet stojících menší.

Tab. 2 Obsaditelnost vozidla v závislosti na konfiguraci

Počet článků (obousměrnost)	Míst k sezení	Plocha ke stání (m ²)	Míst ke stání při hustotě			Celková obsaditelnost
			4 os./m ²	5 os./m ²	8 os./m ²	
3 (jednosm.)	67	24,5	98	122	196	165/189/263
3 (obousm.)	48	28,4	113	142	227	161/190/275
5 (jednosm.)	97	35,5	142	177	284	239/274/381
5 (obousm.)	70	42,3	169	211	338	239/281/408
7 (jednosm.)	127	46,7	186	233	373	313/360/500
7 (obousm.)	92	56,3	225	281	450	317/373/542

Zajímavé je porovnání jednosměrných a obousměrných verzí stejné délky. Počet sedadel u obousměrných verzí je přibližně o 30 % nižší než u odpovídajících verzí jednosměrných, což je dáno nutností odstranit sedadla na obou stranách v místech dveří. Tím ovšem naroste plocha ke stání (kolem 20 %), a tedy by se zdálo, že obousměrná tramvaj pojme více cestujících, jelikož na stejnou plochu se vejde více stojících než sedících cestujících. Tento nárůst je ovšem vykompenzován tím, že obousměrná tramvaj má kabinu řidiče na obou koncích, čímž je salon pro cestující zmenšen (jak o sedadla, tak o místa ke stání). Při hustotách 4 a 5 os./m² je tak celková kapacita téměř shodná. U obousměrných tramvají je však větší procento stojících cestujících, což lze brát jako nevýhodu této koncepce.



Obr. 68 Uspořádání sedaček u všech variant (počet míst při 5 os./m²)

Tramvaj je pochopitelně vybavena i výsuvnou plošinou pro vozičkáře, která je umístěna pod prvními dveřmi (u obousměrných verzí jsou pak plošiny dvě, jedna pro každý směr). U jednosměrných verzí je místo pro kočárek a voziček naproti prvním dveřím. Kvůli bezpečnému připoutání invalidního vozíku je u obousměrných tramvajů pro něj vyčleněno místo mezi prvními a druhými dveřmi na pravé straně ve směru jízdy. Pro kočárky lze využít i prázdné místo u protějších dveří.



Obr. 69 Tramvaj stojící u nástupiště s vysunutou plošinou pro vozičkáře

5.2.4 Sedadla

5.2.4

V praxi jsou sedadla pro cestující často voleny nezávisle podle požadavků objednavatele. Pro tento návrh byly vytvořeny jednoduché sedačky vyrobené z plastu. Sedací plochu a opěrku je možno také potáhnout látkou. Sedák má délku 40 cm, na šířku měří 42 cm včetně mírně se zvedajících bočnic zabraňujících pohybu do boku při působení bočních setrvačných sil. Výška opěrky je 62 cm od nejnižšího bodu sedáku. Sklon sedáku je 5° ve směru dozadu, sklon opěrky je 10°. Při rozmístění sedadel za sebou je mezera mezi hranou sedáku a zadní stranu předního sedadla 30 cm. U sedaček umístěných naproti sobě je tento prostor pro kolena dvojnásobný, 61 cm. Sedadla i dvojsedadla jsou v místech nezvýšené podlahy posazena na konzolách upevněných do bočnic. Plocha podlahy tak zůstává nenarušena, čímž je usnadněna její údržba.

5.2.5 Madla

5.2.5

Důležitým bezpečnostním prvkem v prostředcích městské hromadné dopravy jsou madla pro stojící cestující. Svislá madla jsou umístěna u každé druhé řady sedadel a na dalších logických místech. Madla u sedadel kopírují tvar opěrky a jsou ukončena v konzoli pod sedadlem, čímž opět nedojde k narušení podlahové plochy. Vodorovná madla jsou ve výšce 200 cm nad podlahou, pro menší postavy mohou být vybavena individuálními zavěšenými držáky. Horizontální madla nad dvěma řadami sedadel jsou umístěna přímo nad hranou krajní sedačky, aby se cestující nemuseli natahovat nad sedadla. Madla nad jednou řadou sedaček jsou ještě posunuta od hrany sedačky o deset centimetrů směrem ke středu vozu, aby byla lépe dosažitelná i pro cestující stojící uprostřed vozu. Ukotvení madel ve stropě je řešeno standardním způsobem, kdy po celé délce stropu je drážka, do které je madlo vsazeno, a prostor v drážce mezi madly je vyplněn krycí součástí.

5.2.6 Pracoviště řidiče

5.2.6

Vstup do kabiny řidiče je zajištěn dveřmi o šířce 600 mm na konci uličky mezi krajními podvozky. Prostor mezi dveřmi a palubní deskou je široký 150 cm. Zde je umístěno plně polohovatelné sedadlo. Nohy řidiče spočívají na šikmé ploše pod palubní deskou, která je výškově nastavitelná. Tramvaj není ovládána pedály, toto řešení se již u nových tramvají nepoužívá. Ovládání jízdy a brzdy je řešeno kombinovanou pákou na ploše vlevo vedle sedadla. Na této páce spočívá levá řidičova ruka při jízdě, pravá ruka je volná pro ovládání tlačítek na palubní desce nebo může spočinout na vodorovném madle. Uprostřed palubní desky je multifunkční displej, zobrazující v základním režimu údaje o rychlosti a dalších důležitých parametrech. Po stranách jsou menší displeje neustále zobrazující obraz ze zpětných kamer nahrazujících zpětná zrcátka.

5.2.7 Světelný informační pás

5.2.7

Od světelného informačního pásu nebylo ve finálním řešení upuštěno, avšak je koncipován jako doplňková varianta ke klasickému řešení. Koncept světelného pruhu v sobě integruje několik funkcí. Především jeho barva se mění podle toho, na jakou linku je vozidlo nasazeno. To samozřejmě předpokládá jednotný městský systém barevného značení linek, jaký se často používá v systémech metra, avšak ani v tramvajových provozech nejde o neznámou věc. Tento doplněk k číselnému značení umožňuje cestujícím identifikovat linku již na velkou vzdálenost a bez výjimky ze

všech směrů, což je výhodou obzvláště v přestupních uzlech nebo jinde na tratích se souběhem více linek. S využitím perspektivních technologií, jako je OLED, je možno do pásu integrovat i vnější informační systém vozidla s číslem linky, konečnou stanicí, důležitými zastávkami nebo dalšími informacemi. Celý pás tvořený tímto displejem by nabízel velmi široké možnosti využití. Poslední funkcí je osvětlení vozidla, které nemá takové možnosti manévrování a možnosti brzdění jako ostatní vozidla a chodci sdílející s tramvaji městskou komunikaci, a právě výrazné osvětlení může přispět k bezpečnosti provozu. Intenzita osvětlení na druhou stranu nesmí být nepříjemná a oslňující, ve dne by měla být taková, aby byla rozpoznatelná barva a byly čitelné textové informace, v noci by intenzita osvětlení byla ještě výrazně menší.

6 BAREVNÉ A GRAFICKÉ ŘEŠENÍ

Základní barevné rozdělení vychází z tvarového dělení ploch. Pás kolem oken je v černé barvě, neboť i průhledná okna se jeví právě převážně černá (v denním světle). Jakákoliv jiná barva by tedy znamenala, že budou výrazná jednotlivá okna a dojde k narušení celého horizontálního pásu a přibude množství statických vertikálních linek. Od této barvy se odvíjí i barva čela pod předním oknem, které tvarově navazuje na linii oken, zde by opět jiné barevné řešení rozbilo celou tvarovou koncepci. Zbývající plochy nad a pod okny (tvořící v souhrnu asi 50 % z výšky skříně) již nabízejí více prostoru pro barevné řešení. Barva pantografu byla zvolena šedá, vzhledem k tomu, že u nás často používané jasně žluté pantografy se snadno znečistí grafitem odpadávajícím z uhlíkových lišt sběračů.

6.1 Varianta A

V návrhu je počítáno se dvěma barevnými rozloženými. První je pro variantu tramvaje se světelným informačním pásem nad okny. V této variantě je barva pásu proměnná v závislosti na lince, nemá tedy smysl se bavit o jedné konkrétní barvě. Proměnlivá barva ovšem významně omezuje možné zbarvení ostatních ploch, protože lze těžko nalézt v barevném spektru odstín, který by ladil s libovolnou jinou barvou. Na výběr tedy zůstávají pouze odstíny šedé. Černá už je použita na velké části ploch, jako ideální se proto jeví světlý odstín šedé, resp. stříbrná barva. Na vizualizacích níže je vidět toto řešení v kombinaci s různými barvami informačního pruhu.



Obr. 70 Varianta se světelným pásem proměnlivé barvy dle linky

6.2 Varianta B

Druhým barevným řešením je varianta bez světelného pásu. Zde lze tedy aplikovat více barev na horní i spodní část boku tramvaje. I přes teoreticky větší možnosti se nakonec jako nejčistší jeví použití shodné barvy pro podokenní i nadokenní pás bez dalšího barevného členění. Zde v podstatě odstín není omezen, o něco lépe vypadají světlejší odstíny díky kontrastu s tmavými plochami oken, dveří a čela vozu. V praxi lze počítat s tím, že konkrétní barevné řešení vychází z barev města nebo barev ostatního vozového parku.



Obr. 71 Varianta bez světelného pásu se shodnou barvou karoserie pod i nad okny

6.3 Informační grafika

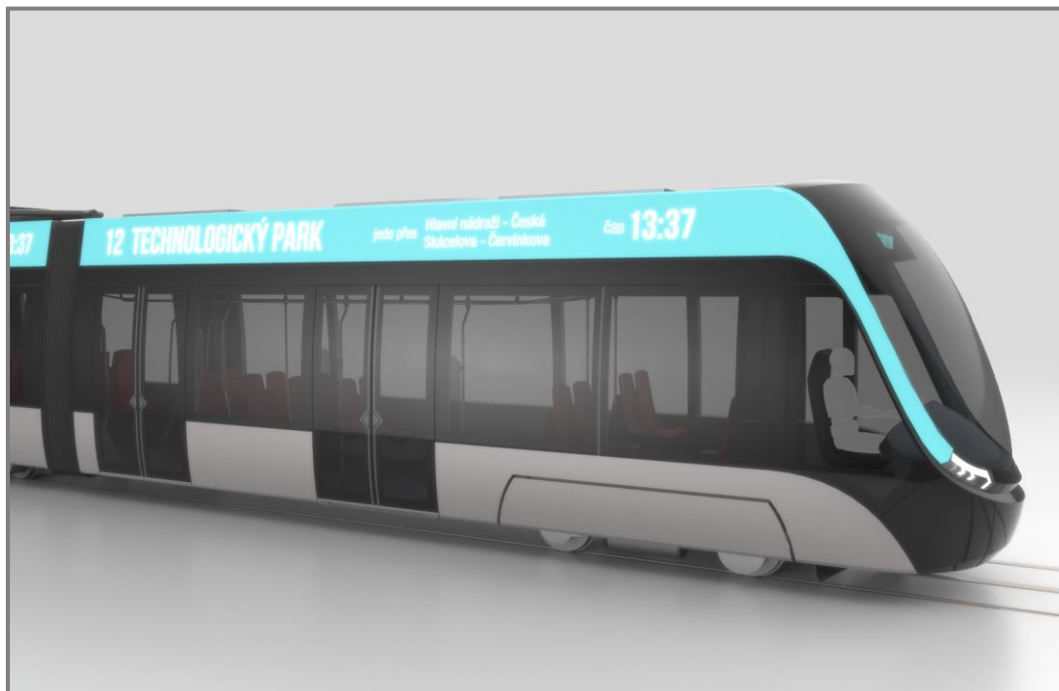
Součástí grafického řešení exteriéru je i vnější informační systém. V čele vozu je v prostoru za čelním sklem nad kabinou řidiče umístěn klasický elektronický transparent zobrazující číslo linky a konečnou stanici využívající technologii LED, případně s kombinací s elektromechanickým systémem s otočnými terčíky v matici. V případě varianty se světelným pásem se nabízí měnit barvu písma zároveň s barvou pruhu, buď za využití RGB LED nebo OLED displeje.

Situace na bocích je ještě více závislá na tom, zda je použit barevný pás. V případě, že ano, jsou informace o lince, cíli a zastávkách součástí tohoto pásu v opačném případě jsou použity opět samostatné panely, vsazené za boční okna v jejich horní části.

V interiéru lze pro zobrazování informací využít zadní strany těchto panelů (je možno použít LCD displej nabízející širší grafické možnosti) nebo šikmé plochy mezi okny a stropem.



Obr. 72 Vnější informační systém – klasické řešení



Obr. 73 Vnější informační systém integrovaný do světelného pásu

6.4 Světelná signalizace

Inovována byla světelná signalizace v prostoru dveří. Jak již bylo popsáno v kapitole Tvarové řešení, v krajích dveřních křídel jsou integrovány vertikální světelné pásy

s trojúhelníkovými vybočeními kolem tlačítek poptávkového otevírání dveří. Při jízdě jsou tyto pásy i tlačítka zhasnuté. Po zastavení tramvaje v zastávce dojde při odblokování dveří řidičem k rozsvícení pruhů zelenou barvou, čímž je jednak zvýrazněna poloha dveří a jednak jde o informaci cestujícím, že mohou použít tlačítko k otevření dveří. Po jeho stisku se tlačítko rozsvítí zeleně a dveře se začnou otvírat. Před zavřením dveří se spouští zvuková i světelná výstražná signalizace, zde obstaraná změnou barvy pruhu na červenou. Při zavírání dveří se pak tyto dvě červené linie sbíhají k sobě, což může mít i lepší psychologický efekt než statické světlo svítící uvnitř nad dveřmi. Zároveň je tato signalizace viditelná i z větší dálky. Shodný svítící pruh včetně tlačítek je integrován i z vnitřní strany dveří a funguje obdobně. Výjimkou je pouze poptávkové tlačítko, které se rozsvítí ihned po zmáčknutí i během jízdy.



Obr. 74 Světelná signalizace na dveřích: 1) během jízdy 2) po zastavení a odblokování dveří 3) po stisknutí tlačítka poptávky a při otevírání dveří 4) výstraha při zavírání dveří

6.5 Světlomety

Grafické prvky vykazují rovněž přední/zadní/kombinované světlomety na čelech vozu. U obousměrných tramvají je třeba skloubit funkce předních i zadních světel do jednoho světlometu, světlomety u jednosměrné varianty pak vychází z tohoto kombinovaného řešení.

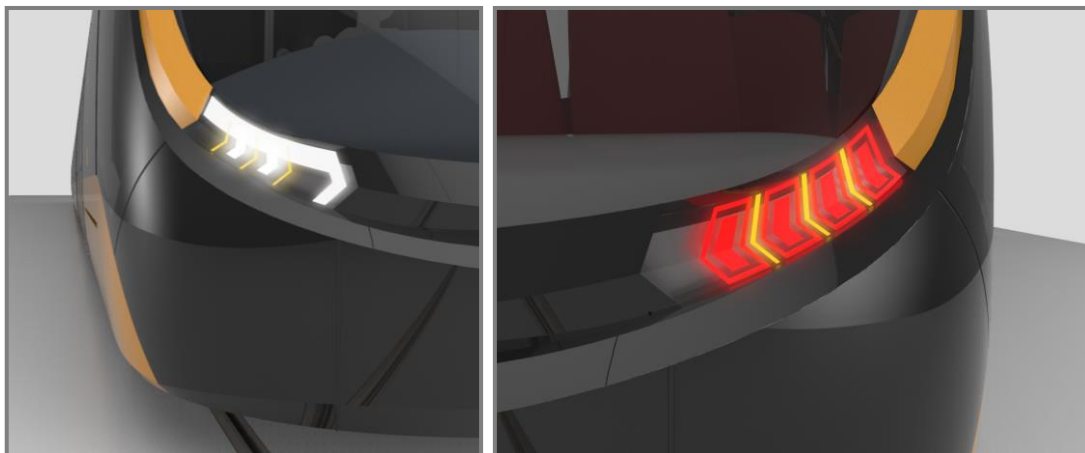
Světlomet má podélný a zahnutý tvar, uprostřed je krycí sklo zalomené, čímž kopíruje hranu probíhající z horního pásu před přední masku. Boční okraje světel jsou pak v tomto místě zalomené taky ve směru ke středu tramvaje. Horní třetinu plochy světlometu a také okraj bližší středu vyplňuje světlovodivý průhledný prvek, částečně zakrývající další světelné prvky. Tento prvek je rozsvícen samostatně bílým světlem při použití světel pro denní svícení a také v kombinaci s obrysovými a dálkovými světly. Plocha světlometu je dále rozdělena na čtyři obdélníkové zalomené oblasti, které oddělují tři úzké pruhy oranžových směrových světel. Zadní světla jsou tvořena čtyřmi červenými obrysy v těchto obdélnících. Uvnitř nich jsou pak plošně rozsvícena

brzdová světla. Prostřední dva segmenty mají společný reflektor s předními obrysovými a dálkovými světly.



Obr. 75 Světlomety: a) světla pro denní svícení b) přední obrysová světla c) zadní obrysová světla d) zadní světla v kombinaci s brzdovými a směrovými světly

Blinkry v bocích tramvaje jsou řešeny také méně tradičně a v souladu se světelnými linkami na dveřích jsou tvořeny úzkými vertikálními proužky mezi okny, probíhající podél celé výšky oken.



Obr. 76 Detail předního a zadního světlometu



Obr. 77 Boční směrová světla ve sloupcích oken – vizualizace tramvaje v oblouku

7 DISKUZE

7

7.1 Psychologická funkce

7.1

Celkové psychologické působení designérského řešení je značně ovlivněno výrazem čela vozu. Zásadní je umístění a tvar světlometů, které člověku evokují oči. Zároveň tvar linek na masce ovlivňuje, zda se dopravní prostředek podvědomě směje, mračí, zda má agresivní, přívětivý či překvapený výraz. Zatímco např. u sportovních automobilů je agresivní tvář žádoucí, u tramvaje, která je městotvorným prvkem a měla by se v centrech měst pohybovat v symbióze s ostatním provozem a chodci, je vhodný vlídnější výraz. Tohoto je v návrhu dosaženo obecně měkkým až organickým tvarováním a také díky křivce probíhající z horní bočnice pod čelní sklo, čímž přirozeně vytváří ve výrazu úsměv. Ten je podporován i tvarem světlometů, které jsou podlouhlé a poměrně nízké, a tedy evokují spíše přivřené oči, typické právě při úsměvu. Je však třeba dodat, že toto tvarování je stále velmi abstraktní a podvědomě obličejové rysy vznikají až v lidském mozku díky psychologickému jevu pareidolie. Příliš doslovné tvarování by naopak mohlo působit zvláště až děsivě.

Na psychologii má jednoznačně vliv i barevné řešení. V exteriéru jsou použity jasnější barvy, které podporují radost, živost, pohyb, apod. V interiéru jsou s výjimkou červených sedadel naopak studenější a méně syté odstíny, modrá použitá na podlahu evokuje klid, volnost, prostor, bílé obložení pak podporuje čistotu. Na pracovišti řidiče převažuje také modrá, která je vhodná pro práci vyžadující klid a soustředění, což řízení vozidla bezpochyby je. [30]

7.2 Ekonomická funkce

7.2

Cena vozu je dána především konstrukčním řešením. Navržené designérské řešení na ni nemá zásadní vliv, neboť odpovídá současné technologii výroby. Jedinou výjimkou v případě verze se svíticím pruhem je informační OLED pás – v současné době je tato technologie ještě velmi nákladná, ačkoliv do budoucna se dá očekávat postupné snižování ceny s tím, jak bude častěji využívána. Tyto náklady by bylo možno i při zachování světelného pásu minimalizovat použitím LED podsvícení v hraně pásu a rozvedení světla do plochy pomocí světlovodivých prvků. Jako informační systém by mohl být použit klasický panel v okně nebo v samotném pásu.

Významnou položkou jsou také náklady na provoz a údržbu a také je třeba započítat opotřebení tratí. Ke snížení těchto nákladů přispívá použití krajních otočných podvozků a pevných náprav, avšak vždy záleží na konkrétním technickém provedení. Obecně konstrukční řešení využívá ověřené technologie a není proto důvod očekávat nepředvídatelné zvýšení nákladů.

Celkovou cenu za jeden vůz nelze jednoznačně stanovit, nákup tramvají probíhá ve velkých výběrových řízeních a cena je samozřejmě ovlivněna i konkrétní konfigurací, především pak počtem článků a podílem trakčních podvozků. Přibližně by se cenová hladina mohla pohybovat mezi 60 až 80 miliony Kč za vůz.

7.3 Sociální funkce

7.3

Městská hromadná doprava a zvláště tramvaje ve městech mají bezpochyby dopad na společnost. Především je zde ekologický aspekt, kdy elektrický provoz bez lokálních

emisí má příznivý vliv na životní prostředí ve městě, a tedy v důsledku i na kvalitu života jeho obyvatel. Tramvaje po metru dokáží přepravit největší množství pasažérů, 200 cestujících v jednom voze ušetří výrazné místo na silnici oproti cca 150 osobním automobilům, ve kterých by se tito cestující jinak mohli pohybovat.

Aby však tramvajová doprava ve městě byla úspěšná, je třeba přimět obyvatele k jejímu využívání. Kromě rozsahu sítě, intervalů v jízdních řádech, cestovní rychlosti a ceně jízdného mohou k tomu výrazně pomoci samotné tramvajové vozy. Vedle udržovanosti, čistoty zvenku i v interiéru mohou mít pozitivní vliv moderně vypadající vozy s přívětivým designem. Důležitým aspektem je také nízkopodlažnost, uspořádání interiéru, tepelná pohoda (použití klimatizace salonu pro cestující), dobrá informovanost cestujících. Ke všem těmto aspektům bylo během návrhu přihlíženo a byly z větší části naplněny.

S tramvajovým provozem souvisí i tramvajové tratě. Vylepšit obraz ve společnosti může nadále použití systému napájení ze třetí kolejnice nebo částečný bateriový provoz, který umožní odstranění trolejového vedení v centrech měst, což je důležité především při zavádění nových tramvajových provozů ve městech, kde obyvatelstvo není na tyto rušivé prvky v ulicích zvyklé a dá se očekávat odpor.

ZÁVĚR

Výsledkem diplomové práce je designérský návrh nízkopodlažní tramvaje. V první fázi byl zanalyzován design stávajících tramvají, které prochází v posledních letech významným obrozením. S tím souvisí existující velké množství designově více i méně povedených tramvají, které jsou často zaváděny do zcela nových tramvajových provozů.

Na poli technickém se v posledních dvou desetiletích také událo mnohé, výrobci se především soustředili na problematiku konstrukce nízkopodlažních tramvají, která se ukázala být značně složitá, což dobře dokumentuje množství úspěšných i neúspěšných koncepcí. Mezi další významné technické inovace patří částečný provoz na baterie a superkapacity a také systém bezpečného napájení ze třetí kolejnice – oba tyto systémy mají za úkol eliminovat nevzhledné trolejové vedení, které může být překážkou při zavádění nových tramvajových provozů. Poněkud stranou běžných definic pak stojí tramvaje na pneumatikách, jejichž budoucnost ještě není zcela jasná.

Proces návrhu začal hledáním nosných tvarů ve skicích. Slibně vypadající nápady byly dále rozváděny dalšími skicami i hmotovými studiemi, které se staly velkými pomocníky. Souběžně s touto fází probíhalo vytváření konstrukčně-technologického řešení. Na základě rešerše bylo zvoleno takové konstrukční řešení, které umožňuje nasazení tramvaje na městských tratích, včetně těch stávajících. Jako výhodná se ukázala být koncepce s otočnými podvozky v krajních člancích, která snižuje síly vznikající při nájezdu do oblouku. S tímto technickým řešením bylo dále počítáno i při návrhu designérského řešení. Jedním z prvků, který se na vzhledu odrazil, jsou kryty krajních otočných podvozků, které se v obloucích vyklápí z bočnice.

Ze tří variantních studií, jejichž společným jmenovatelem byl čistý a kompaktní tvar, byla vybrána varianta s převládajícím měkčím tvarováním. Dominantním prvkem je zde linie jdoucí nad pásem bočních oken, přecházející v čele vozu do A sloupku, kde na ni plynule navazují světlomety a přes přední masku se vrací zpět po druhé straně. Kombinace této linie a předních světlometů se snaží vytvořit přívětivý výraz tramvaje. V interiéru tramvaje bylo zpracováno především uspořádání sedaček a madel, tvarové řešení vychází čistě z funkce.

Inovativně byl řešen vnější informační systém vozidla, kde byla navržena varianta se světelným pásem s integrovanou funkcí vnějšího zobrazovače informací o lince, konečné a nácestných zastávkách. Velká plocha displeje umožňuje i širší využití. Pás navíc mění svou barvu podle toho, na jaké lince se vozidlo nachází. Toto řešení by v současné době bylo ještě finančně nákladné, avšak do budoucna se dá předpokládat zlevnění této perspektivní technologie. Levnější alternativou by byl pouze svítící pás bez displeje a nakonec byla vytvořena i alternativa s konvenčním řešením bez světelného pásu. Dalším přínosem byla změna způsobu signalizace zavírajících se dveří. Integrovaná byla do svislých pruhů podél hrany dveřních křídel, navíc v kombinaci s výraznější indikací odblokováných dveří.

Celkově se v práci se podařilo dosáhnout většiny stanovených cílů, návrh respektuje navržené konstrukční řešení a klade důraz na ergonomii, která je důležitým faktorem u prostředku veřejné hromadné dopravy.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KUBÁT, Bohumil. Městská a příměstská kolejová doprava. Vyd. 1. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2010, 347 s. ISBN 978-80-7357-539-7.
- [2] 1000 kolejových vozidel. Vyd. 1. Praha: Knižní klub, 2009, 336 s. ISBN 978-80-242-2552-4.
- [3] HELLER, Petr a Josef DOSTÁL. *Kolejová vozidla III*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2011, 223 s. ISBN 978-80-261-0028-7.
- [4] ROGERS, Pete. The Swansea and Mumbles Railway. *Welshwhales.co.uk*. [online]. © 2005 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: http://www.welshwhales.co.uk/mumbles_railway_swansea.htm
- [5] Historie MHD v Brně. *BMHD.cz*. [online]. 2008 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://www.bmhd.cz/historie/historie.php>
- [6] O tramvajích, které dlouhou dobu nemohly jezdit, aneb příběh vozů RT6. *BMHD.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://www.bmhd.cz/rt6/rt6.php>
- [7] ULF – Ultra Low Floor tram. *Siemens*. [online]. ©2014 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/en/urban-mobility/rail-solutions/trams-and-light-rail/ulf/pages/ulf.aspx>
- [8] Citadis tramways. *Alstom*. [online]. © 2014 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.alstom.com/transport/products-and-services/trains/tramway-citadis/>
- [9] Three-stage programme puts Combino trams back on track. *Railway Gazette*. [online]. 01 Oct 2005 [cit. 2014-12-07]. Dostupné z: <http://www.railwaygazette.com/news/single-view/view/three-stage-programme-puts-combino-trams-back-on-track.html>
- [10] Tramvaje Škoda 03T / Astra. *Plzeňské tramvaje*. [online]. © 2014 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://www.plzensketramvaje.cz/?page=astra.htm>
- [11] Škoda 05T – Vektra. *Plzeňské tramvaje*. [online]. © 2014 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://www.plzensketramvaje.cz/?page=vektra.htm>
- [12] Tramvaj 10T0 pro Portland (USA). *Plzeňské tramvaje*. [online]. © 2014 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://www.plzensketramvaje.cz/?page=portland.htm>
- [13] Tramvaje. *ŠKODA TRANSPORTATION a.s.*. [online]. 2014 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://skoda.cz/cs/produkty/tramvaje/>

- [14] *Pragoimex a.s.* [online]. 2014 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://www.pragoimex.cz/>
- [15] KOLÁŘ, Josef. *Vývojové trendy v řešení nízkopodlažních článkových tramvají: Trends of development in conception of sectioned low-floor tramways.* V Praze: České vysoké učení technické, 2007, 27 s. ISBN 978-80-01-03937-3.
- [16] Wireless Trams with APS. *Institute of Transportation Studies – UC Irvine.* [online]. 2008 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: <http://www.its.uci.edu/~jaykay/transit-documents/catenary-free-LRT-Alstom.pdf>
- [17] TŮMA, Jan. Tramvaje bez troleje a pantografu? *Hospodářské noviny.* [online]. 9. 12. 2010 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: <http://ihned.cz/c1-48480970-tramvaje-bez-troleje-a-pantografu>
- [18] STEINER, Michael, Markus KLOHR a Stanislaus PAGIELA. Energy storage system with ultracaps on board of railway vehicles. In *2007 European Conference on Power Electronics and Applications.* IEEE, 2007, s. 1-10. DOI: 10.1109/EPE.2007.4417400. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4417400>
- [19] ALSTOM TRANSPORT SA. *Railway vehicle comprising pivoting end bogies.* Patentový spis, US 8365675 B2. Uděleno 5. 2. 2013. Dostupné z: <http://www.google.com/patents/US8365675>
- [20] VŮKV A.S. *Low construction height bogie for low-floor rail vehicles especially trams.* Patentový spis, EP 2020355 A1. Uděleno 4. 2. 2009. Dostupné z: <http://www.google.com/patents/EP2020355B1>
- [21] ČKD DOPRAVNÍ SYSTÉMY A. S., *Dvouosý trakční podvozek nízkopodlažního kolejového vozidla s podélně uloženými nezávislými pohonnými jednotkami.* Patentový spis, CZ 286660. Uděleno 30. 3. 2000. Dostupné z: <http://spisy.upv.cz/Patents/FullDocuments/286/286660.pdf>
- [22] Tramvaj ForCity Alfa Praha. *ŠKODA TRANSPORTATION a.s.* [online]. [2012] [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.skoda.cz/cs/produkty/tramvaje/forcity/tramvaj-forcity-praha/>
- [23] Tramvaj ForCity Classic Miskolc. *ŠKODA TRANSPORTATION a.s.* [online]. [2012] [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.skoda.cz/cs/produkty/tramvaje/forcity/tramvaj-26-t/>
- [24] Tramvaj Forcity Plus Bratislava. *ŠKODA TRANSPORTATION a.s.* [online]. 2014 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://www.skoda.cz/cs/produkty/tramvaje/forcity/tramvaj-29-t/>

- [25] Citadis tramways. *Alstom*. [online]. © 2014 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.alstom.com/transport/products-and-services/trains/tramway-citadis/>
- [26] STRAVA, Cristiana. a Tramway Arrives in Casablanca. *Polis*. [online]. February 15, 2013 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z: <http://www.thepolisblog.org/2013/02/tramway-casablanca.html>
- [27] FLEXITY Outlook – Marseille, France. *Bombardier*. [online]. © 1997-2014 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.bombardier.com/en/transportation/projects/project.flexity-marseille-france.html>
- [28] Alstom's Citadis Compact. *railwaysignalling.eu*. [online]. Sep 03, 2014 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://www.railwaysignalling.eu/alstoms-citadis-compact>
- [29] RICHTÁŘ, Michal, Vladislav KŘIVDA a Ivana OLIVKOVÁ. *Městská hromadná doprava* [online]. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006 [cit. 2015-05-19]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mhd/>
- [30] CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 171 s. ISBN 80-01-02301-x
- [31] DANĚK, Filip. vk2 6. *Fotogalerie veřejné dopravy v Brně a na jižní Moravě*. [online]. 12. 06. 2011 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://foto.bmhd.cz/foto.php?32872>
- [32] Brno, Maloměřice, Dolnopolní, parní tramvaj.jpg. *Wikimedia Commons*. [online]. 19 May 2007 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brno,_Malom%C4%9B%C5%99ice,_Dolnopoln%C3%AD,_parn%C3%AD_tramvaj.jpg
- [33] JOBLINK, Mark S. 700 and 720 at bispham.jpg. *Wikimedia Commons*. [online]. 31 July 2006 [cit. 2014-10-24]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:700_and_720_at_bispham.jpg
- [34] WOOD, Christopher J.. San Francisco F line streetcars at Jones.jpg. *Wikimedia Commons*. [online]. 30th May 2003 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:San_Francisco_F_line_streetcars_at_Jones.jpg
- [35] GROH, Jan. Levského, Tatra T3 při vjezdu, detail.jpg. *Wikimedia Commons*. [online]. 6 November 2010 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Levsk%C3%A9ho,_Tatra_T3_p%C5%99i_vjezdu,_detail.jpg

- [36] EDWARDS, Bryce. Budapest yellow tatra tram.jpg. *Wikimedia Commons*. [online]. 14 March 2005 [cit. 2014-10-24]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Budapest_yellow_tatra_tram.jpg
- [37] Tram Wien, 12. Aug 2014. Flickr – Photo Sharing. [online]. August 12, 2014 [cit. 2014-10-24]. Dostupné z: <http://www.flickr.com/photos/69258414@N08/14760620469>
- [38] VFDWiki9.jpg. *Wikimedia Commons*. [online]. 12 August 2008 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:VFDWiki9.jpg>
- [39] HAVLÍK, Radek. RT6N1.JPG. *Wikimedia Commons*. [online]. 13 September 2008 [cit. 2014-10-24]. Dostupné z: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:RT6N1.JPG>
- [40] ULF B.jpg. *Wikimedia Commons*. [online]. 13.10.2006 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ULF_B.jpg
- [41] Eurotram 4 caisses Strasbourg.JPG. *Wikimedia Commons*. [online]. 19 April 2007 [cit. 2014-10-24]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eurotram_4_caisses_Strasbourg.JPG
- [42] Stadtbahn Montpellier.jpg. *Wikimedia Commons*. [online]. September 29, 2004 [cit. 2014-10-24]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stadtbahn_Montpellier.jpg
- [43] Combino Supra 2036 in Budapest.JPG. *Wikimedia Commons*. [online] 20 August 2008 [cit. 2014-10-24]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Combino_Supra_2036_in_Budapest.JPG
- [44] MORGAN, Steve. United Streetcar 10T3 prototype for Portland.jpg. *Wikimedia Commons*. [online] 1 July 2009 [cit. 2014-10-24]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:United_Streetcar_10T3_prototype_for_Portland.jpg
- [45] WIELGOSZEWSKI, Bogusław. 16T Wroclaw 3002.jpg. *Wikimedia Commons*. [online] 12 January 2007 [cit. 2014-10-24]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:16T_Wroclaw_3002.jpg
- [46] GROH, Jan. Hradčanská, 9226.jpg. *Wikimedia Commons*. [online]. 6 June 2012 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hrad%C4%8Dansk%C3%A1,_9226.jpg

- [47] Vario LF v Brně.jpeg. *Wikimedia Commons*. [online] 2009 [cit. 2014-10-24]. Dostupné z:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vario_LF_v_Brn%C4%9B.jpeg
- [48] ŠLEHOFER, Jan. Plzeň, Palackého, Škoda 26T č. 118.jpg. *Wikimedia Commons*. [online]. 25 May 2013 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plze%C5%88,_Palack%C3%A9ho,_%C5%A0koda_26T_%C4%8D._118.jpg
- [49] Citadis n°60 Vaucanson trottoir (tram Tours) par Cramos.JPG. *Wikimedia Commons*. [online]. 1 September 2013 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z:
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Citadis_n%C2%B060_Vaucanson_trottoir_\(tram_Tours\)_par_Cramos.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Citadis_n%C2%B060_Vaucanson_trottoir_(tram_Tours)_par_Cramos.JPG)
- [50] Tram tours 1.jpg. *Wikimedia Commons*. [online]. 12 May 2011 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tram_tours_1.jpg
- [51] Citadis n°57 & n°55 Anatole France (tram Tours) nuit par Cramos.JPG. *Wikimedia Commons*. [online]. 31 August 2013 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z:
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Citadis_n%C2%B057_%26_n%C2%B055_Anatole_France_\(tram_Tours\)_nuit_par_Cramos.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Citadis_n%C2%B057_%26_n%C2%B055_Anatole_France_(tram_Tours)_nuit_par_Cramos.JPG)
- [52] FEVRE, Florian. Tram Lyon Billy.jpg. *Wikimedia Commons*. [online]. July 2007 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tram_Lyon_Billy.jpg
- [53] Tramway de Marseille – Ligne 2 – Belsunce Alcazar 04.jpg. *Wikimedia Commons*. [online]. November 2008 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tramway_de_Marseille_-_Ligne_2_-_Belsunce_Alcazar_04.jpg
- [54] Marseille – Tramway – Details (7665426082).jpg. *Wikimedia Commons*. [online]. 29 July 2012 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z:
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marseille_-_Tramway_-_Details_\(7665426082\).jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marseille_-_Tramway_-_Details_(7665426082).jpg)

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

PCC – *Presidents' Conference Committee Car* (Vůz výboru sjezdu prezidentů)

ČKD – Českomoravská-Kolben-Daněk

MHD – městská hromadná doprava

ULF – *Ultra Low Floor* (velmi nízká podlaha)

APS – *Alimentation par le Sol* (napájení ze země)

VÚKV – Výzkumný ústav kolejových vozidel

RGB – *red-green-blue* (červená-zelená-modrá)

LED – *light-emitting diode* (světlo emitující dioda)

OLED - *organic light-emitting diode* (organická světlo emitující dioda)

LCD - *liquid crystal display* (diplej z tekutých krystalů)

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1** Brněnský vůz koňky z roku 1876 [31]
Obr. 2 Parní lokomotiva Caroline (1889) se dvěma vlečnými vozy v Brně [32]
Obr. 3 Dvoupatrové tramvaje v Blackpoolu, Velká Británie [33]
Obr. 4 Vozy koncepce PCC v San Franciscu [34]
Obr. 5 Tramvaj Tatra T3 v Praze [35]
Obr. 6 Soupřava vozů T6C5 s dveřmi na obou stranách spřažených zadními čely k sobě v Budapešti [36]
Obr. 7 Soupřava tramvaje E1 a vlečného vozu c3 ve Vídni [37]
Obr. 8 První nízkopodlažní tramvaj na světě – Alstom TFS-2 z roku 1987 pro Grenoble [38]
Obr. 9 ČKD Tatra RT6N1 v Brně [39]
Obr. 10 ULF B, Vídeň [40]
Obr. 11 Eurotram ve Štrasburku (devítičláňková verze) [41]
Obr. 12 Tramvaj na pneumatikách (systém Translohr) ve městě Clermont-Ferrand, Francie
Obr. 13 Alstom Citadis 401 (původní typ 301 byl prodloužen dodáním dalších dvou článků) v Montpellier [42]
Obr. 14 Nejdelší tramvaj světa, Combino Supra v Budapešti [43]
Obr. 15 Prototyp původem české tramvaje 10T3 v Portlandu nese hrdý nápis „Made in USA“ [44]
Obr. 16 Škoda 16T „Porsche“ ve Vratislavi [45]
Obr. 17 Škoda 15T [46]
Obr. 18 VarioLF v Brně [47]
Obr. 19 Schéma uspořádání pojezdu prvních nízkopodlažních tramvají pro Grenoble [1]
Obr. 20 Schéma uspořádání pojezdu sedmičláňkové tramvaje NGT8DD [1]
Obr. 21 Schéma uspořádání pojezdu nízkopodlažní tramvaje s krátkými nosnými články s beznápravovými podvozky [1]
Obr. 22 Schéma uspořádání pojezdu nízkopodlažní tramvaje GT8N [1]
Obr. 23 Schéma uspořádání pojezdu nízkopodlažní tramvaje ULF [1]
Obr. 24 Koncepce vícečláňkových tramvají [3]
Obr. 25 Schéma klasického dvojkolí [3]
Obr. 26 Schéma podélného dvojkolí [3]
Obr. 27 Schéma dvojkolí s volnými koly [3]
Obr. 28 Průřezní průřez pro jednokolejné tramvajové tratě. Silnější čarou je vyznačen obrys vozidla [1]
Obr. 29 Princip systému APS od firmy Alstom [16] (upraveno)
Obr. 30 Schéma otočného podvozku pro nízkopodlažní tramvaj (varianta 1) [19]
Obr. 31 Schéma otočného krajního podvozku pro nízkopodlažní tramvaj [20]
Obr. 32 Schéma otočného krajního podvozku pro nízkopodlažní tramvaj [21]
Obr. 33 Škoda 15T ve verzi pro Prahu [46]
Obr. 34 Škoda 26T pro Miskolc na testování v Plzni [48]
Obr. 35 Vizualizace Škody 29T pro Bratislavu [24]
Obr. 36 Alstom Citadis 402 v Tours [49]
Obr. 37 Pruhy na dveřích a nástupišti a svítící pásy na čelech [50][51]
Obr. 38 Alstom Citadis 302 v Lyonu [52]

- Obr. 39** Alstom Citadis 302 pro Casablancu [26]
Obr. 40 Bomabarider Flexity Outlook pro Marseille [53][54]
Obr. 41 Tranlohr v Clermont-Ferrand
Obr. 42 Škoda 13T - celkový pohled
Obr. 43 Detail čela, pohled shora
Obr. 44 Skici variantních návrhů
Obr. 45 Koncepční model první varianty
Obr. 46 Vizualizace první varianty
Obr. 47 Boční pohled na první variantu
Obr. 48 Koncepční model druhé varianty
Obr. 49 Vizualizace druhé varianty
Obr. 50 Boční pohled na druhou variantu
Obr. 51 Koncepční model třetí varianty
Obr. 52 Vizualizace třetí varianty
Obr. 53 Boční pohled na třetí variantu
Obr. 54 Vizualizace finálního tvarového řešení – přední pohled
Obr. 55 Finální tvarové řešení – zadní pohled (jednosměrná verze)
Obr. 56 Finální tvarové řešení – detail čelní části
Obr. 57 Finální tvarové řešení – pohled z nadhledu
Obr. 58 Detailní pohled na dveře
Obr. 59 Základní rozměry tří délkových provedení
Obr. 60 Vozidlo v oblouku o minimálním povoleném poloměru 20 metrů (vnější čárkovaná čára – dovolené rozšíření obrysu vozidla v oblouku pro daný poloměr dle ČSN 28 0318)
Obr. 61 Schéma konstrukčního uspořádání
Obr. 62 Schéma otočného podvozku
Obr. 63 Schéma pevného podvozku
Obr. 64 Výhledové úhly v horizontálním směru
Obr. 65 Výhledové úhly ve vertikálním směru při pohledu vpřed
Obr. 66 Výhledové úhly ve vertikálním směru při pohledu vbok
Obr. 67 Vizualizace interiéru
Obr. 68 Uspořádání sedaček u všech variant (počet míst při 5 os./m²)
Obr. 69 Tramvaj stojící u nástupiště s vysunutou plošinou pro vozíčkáře
Obr. 70 Varianta se světelným pásem proměnlivé barvy dle linky
Obr. 71 Varianta bez světelného pásu se shodnou barvou karoserie pod i nad okny
Obr. 72 Vnější informační systém – klasické řešení
Obr. 73 Vnější informační systém integrovaný do světelného pásu
Obr. 74 Světelná signalizace na dveřích: 1) během jízdy 2) po zastavení a odblokování dveří 3) po stisknutí tlačítka poptávky a při otevírání dveří 4) výstraha při zavírání dveří
Obr. 75 Světlomety: a) světla pro denní svícení b) přední obrysová světla c) zadní obrysová světla d) zadní světla v kombinaci s brzdovými a směrovými světly
Obr. 76 Detail předního a zadního světlometu
Obr. 77 Boční směrová světla ve sloupcích oken – vizualizace tramvaje v oblouku

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rozšíření obrysu v oblouku koleje u tramvají [3]

Tab. 2 Obsaditelnost vozidla v závislosti na konfiguraci

SEZNAM PŘÍLOH

náhled sumarizačního posteru (A4)
náhled designérského posteru (A4)
náhled technického posteru (A4)
náhled ergonomického posteru (A4)
fotodokumentace modelu
diplomová práce na CD

sumarizační poster (A1)
designérský poster (A1)
technický poster (A1)
ergonomický poster (A1)
fyzický model 1:25

Design tramvaje

SUMARIZAČNÍ POSTER



Obsahem této diplomové práce je návrh designu nízkopodlažní tramvaje, určené převážně pro vnitroměstské použití. Součástí práce je stručné shrnutí historického vývoje, započatí inovativních trendů na poli designu tramvají a analýza podkladních technických řešení. Hlavní část je věnována samostatnému procesu návrhu, jehož výsledkem je tvarové a grafické řešení exteriéru a uspořádání interiéru při současném respektování konstruktivních a ergonomických požadavků ve vztahu k cestujícím i řidiči vozidla.

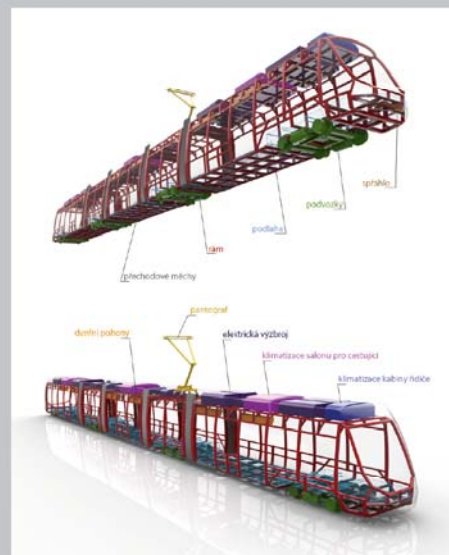
Tramvajová doprava je ekologický způsob hromadné přepravy osob. Tramvajovým vozem se rozumí kolejevé vozidlo lehké konstrukce, v dnešní době vynikající poháněné elektrinou. Specifickým tramvajím je možností jízdy provozu přímo v ulicích města a využitím společné komunikace s auty a chodci. Existují i vyhledávané tramvaje, pohybující se po vlastní segregované trati, často operující mezi městy.



V návrhu je počítáno se dvěma barevnými řešeními. První je pro variantu tramvaje se světlým informačním pásem nad okny. V této variantě je barevná pásma proměnná v závislosti na líně. Na vizualizaci níže je vidět toto řešení v kombinaci s různými barvami informačního pruhu.



Vizualizace interiéru



Rám vozu krajních článků je usazen na dvou bodech – otočném čepu krajního podvozku a čepu v kloubovém spojení článků pod podlahou vozu. Své články jsou posazeny na pevných podvozcích a liché vnitřní články jsou zavěšeny na čepích v kloubech sousedních článků.



Uspořádání sedaček u pětičlánkové jednosměrné varianty

Bc. Šimon Řihánek
Design tramvaje | diplomová práce | vedoucí práce doc. akad. soch. Miroslav Zvonek, ArtD. | obhajoba červen 2015
Vysoké učení technické v Brně | Fakulta strojního inženýrství | Ústav konstruování | Odbor průmyslového designu

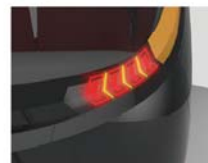
Ústav
konstruování

Design tramvaje

DESIGNÉRSKÝ POSTER



Tramvaj používá tvarově shodná čela pro přední i zadní konec tramvaje nejen u obousměrné, ale i jednosměrné verze. Toto řešení je u modulárních konceptů obvyklé, jelikož snižuje množství unikátních dílů. Zároveň v případě současněho provozování obousměrných i jednosměrných verzí dochází k lepšímu sjednocení vozového parku.



Grafické prvky vykazují rovněž přední/zadní/kombinované světlomety na čelech vozu. U obousměrných tramvají je třeba skloubit funkce předních i zadních světel do jednoho světloometu, světlomety u jednosměrné varianty pak vychází z tohoto kombinovaného řešení. Světlomet má podélný a zahnutý tvar, uprostřed je ložisko okolo zakončení, čímž kopíruje hranu probíhající z horního pásu před přední maskou. Boční okraje světlů jsou pak v tomto místě zakončení taky ve směru ke středu tramvaje. Horní třetinu plochy světloometu a také okraj blíže středu vyplňuje světlovodný průhledný prvek, částečně zakrývající další světelné prvky.



Druhým barevným řešením je varianta bez světelného pásu. Zde lze tedy aplikovat více barev na horní i spodní část boku tramvaje. I přes teoreticky větší možnosti se nakonec jako nejvhodnější jeví použití shodné barvy pro podokenní i nadokenní pás bez dalšího barevného členění. O něco lépe vypadají světlější odstíny díky kontrastu s tmavými plochami oken, dveří a čela vozu. V praxi lze počítat s tím, že konkrétní barevné řešení vychází z barev města nebo barev ostatního vozového parku.

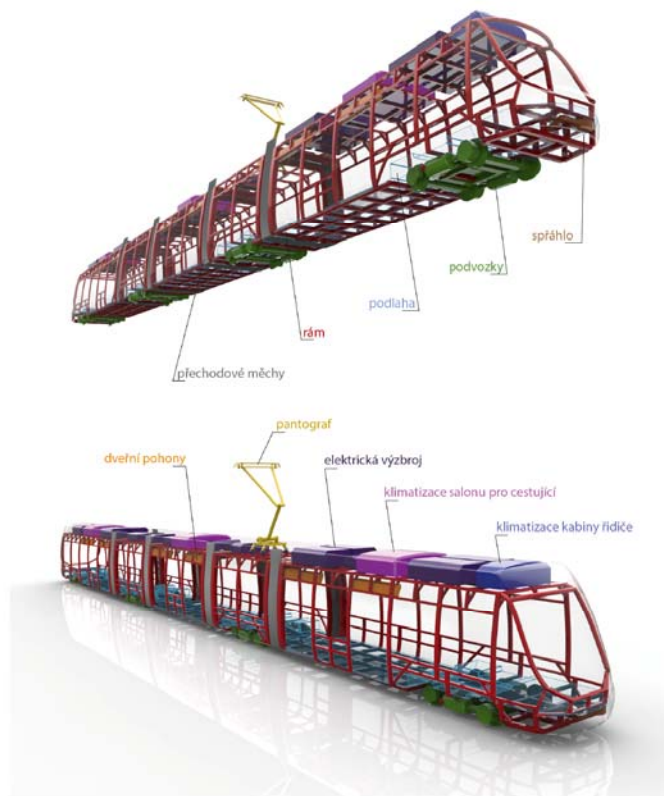
Bc. Šimon Řihánek

Design tramvaje | diplomová práce | vedoucí práce doc. akad. soch. Miroslav Zvonek, ArtD. | obhajoba červen 2015
Vysoké učení technické v Brně | Fakulta strojního inženýrství | Ústav konstruování | Odbor průmyslového designu

Ústav
konstruování

Design tramvaje

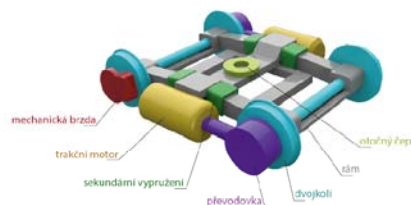
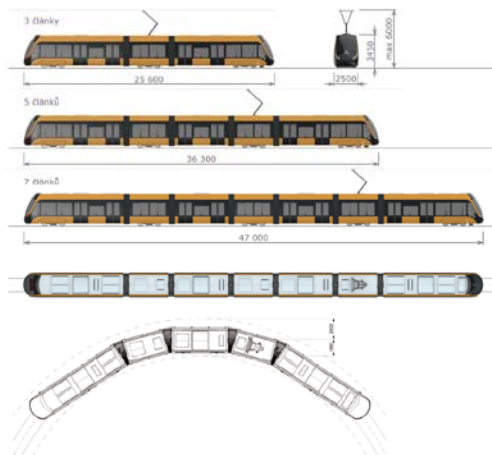
TECHNICKÝ POSTER



Použitá koncepce tramvaje využívá kombinaci krajních otočných podvozků a pevných středních podvozků. Prostřední článek je zavěšený mezi dvěma články s pevnými podvozky, krajní články spočívají na dvou bodech – kloubovém spojení s následujícím článkem a čepu otočného podvozku. Otočné podvozky v krajních článcích zaručují lepší jízdní vlastnosti a menší opotřebení tratě i tramvaje při nájezdu do a jízdy v oblouku. Tramvaj je tedy vhodná do center měst i na starší infrastrukturu. Jak vyplývá z řešení, pevné podvozky ve vnitřních článcích jízdní vlastnosti výrazně nehorší. Krajní podvozky jsou opatřeny výklopným kotvím, který při jízdě v obloucích méně vystupuje z bočnice.

Tramvaj je modulární koncepce, je možno měnit počet článků (3, 5, 7), krajní a zavěšený článek je tvořící možno zkrátit/prodloužit. Samozřejmostí je jednosměrné i obousměrné provedení. Třičlávková verze je vybavena čtyřmi, pětičlávková šesti a sedmičlávková osmi dvoukolejovými představnými dvořmi, ačkoli v konkrétní umístění a počet dvoř je u modulární tramvaje také před-
mátem volby.

V prezentované variantě je tramvaj vybavena systémem APS, což se na vzhledu vozu projeví sice minimálně, pouze v úsecích vybavených třemi koleji se tramvaj pohybuje se sklopeným pantografem, zato má výrazný vliv na samotnou estetiku tratě, která je zbavena trolejového vedení a sloupů jej nesoucích.



Použité podvozky vycházejí z koncepce dle patentu firmy Alstom [19], které i u otočné varianty umožňují zachování bezbariérové uličky mezi koly při použití pevných dvojkolí s nápravami, čímž je zaručeno rovnoměrnější opotřebení kol i kolejiště. Trakční motory jsou uloženy podélně vně rámu podvozku a každý motor pohání individuálně vždy jednu nápravu. Z vnější strany každé nápravy je umístěna na jedné straně převodovka a na protější straně kotoučová brzda. Sekundární vypružení (odpružení podvozku od skříně vozu) je řešeno gumokovovými pružinami mezi příčnicí s čepem a rámem podvozku. Nápravy jsou umístěny na kyvných ramenech s příčným vypružením. Mezi koly je nad kolejištěm umístěna magnetická kolejková brzda. Uspořádání pevného podvozku je shodné s otočným s výjimkou absence otočného čepu a tedy odlišného uchycení k rámu vozu.

Bc. Šimon Řihánek
Design tramvaje | diplomová práce | vedoucí práce doc. akad. soch. Miroslav Zvonek, ArtD. | obhajoba červen 2015
Vysoké učení technické v Brně | Fakulta strojního inženýrství | Ústav konstruování | Odbor průmyslového designu

Ústav
konstruování

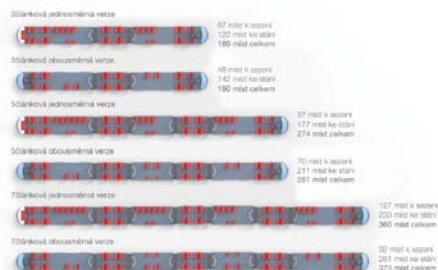
Design tramvaje

ERGONOMICKÝ POSTER

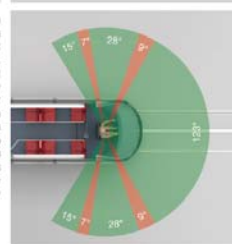


Výhled šikmo vpřed je omezen A sloupky, jejichž šířka činí 17 cm, což znamená zúžení zorného pole přibližně 9°. Mezi sloupky sloupky je 120° neomezeného výhledu vpřed. Další sloupky jsou umístěny až za úroveň hlavy řidiče a zajišťují necelých 7° zorného pole.

Důležitý je také výhled těsně před vůz, kde se mohou pohybovat např. osoby vystupující z vozu. Výhledový úhel je zde takový, že i 120 cm vysoké dítě předcházející těsně před vozem může řidič stále spatřit. Následně výrazně snížená linka bočního okna umožňuje řidiči spatřit s předstihem i osoby velmi nízké postavy pohybující se podél tramvaje před její čelo.



Počet a uspořádání sedadel v interiéru a tedy i celková obsaditelnost je závislá na konkrétní konfiguraci, tedy především počet článků a jednosměrnost či obousměrnost. Další vliv může mít počet dveří, počet míst pro kočárky/handicapované a nakonec také provozovatelem požadovaný poměr sedících ku stojícím cestujícím. Také je třeba počítat s tím, že je omezena nosnost, na kterou lze tramvaj dimenzovat, z tohoto důvodu tedy nelze mít tramvaj s malým počtem sedadel. V návrhu se bude počítat s maximálním počtem dveří vždy dle kroje v každém lichém článku a dvěma prostory pro kočárky/invalidní vozíky.



Bc. Šimon Řihánek

Design tramvaje | diplomová práce | vedoucí práce doc. akad. soch. Miroslav Zvonek, ArtD. | obhajoba červen 2015
Vysoké učení technické v Brně | Fakulta strojního inženýrství | Ústav konstruování | Odbor průmyslového designu

Ústav
konstruování